

융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼  
구축 및 인벤토리 연구

Research on the Data Information Platform and Inventory  
based on Convergence Climate Technology

2022. 12.



보안과제( ), 일반과제( O )

융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼  
구축 및 인벤토리 연구

Research on the Data Information Platform and Inventory  
based on Convergence Climate Technology

2022. 12.



# 제 출 문

국가녹색기술연구소 소장 귀하

본 보고서를 “융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구축 및 인벤토리 연구”의  
보고서로 제출합니다.

2022. 12.

주관연구기관명	: 국가녹색기술연구소
부 서 명	: 기술총괄부
연구책임자	: 신 현 우
연구 원	: 오 상 진
	: 전 은 진
	: 오 지 현
	: 이 천 환
	: 하 수 진
	: 안 형 욱
	: 정 현 덕
	: 박 상 현
	: 조 경 주
	: 박 정 애



# 요 약 문

## I. 서 론

### □ 연구의 배경 및 목표

- 최근 세계는 심각한 기후변화 문제와 코로나19 팬데믹 등으로 인하여 사회·환경·경제 전반에 걸쳐서 새로운 대변화와 기준들이 나타남
  - 주요국들은 기후위기를 극복하기 위하여 탄소배출량 감축목표를 강화하고 국가 주도의 정책지원과 혁신기술개발 투자를 확대
- 국제사회는 온실가스 감축 목표 이행과 함께 적응 문제를 상호보완적으로 해결하기 위하여 융·복합 기후기술에 수요를 지속적으로 강조
  - 기후난제의 특성상 개별 기술만으로 솔루션을 제공하고 감축목표를 이행하는 데에는 한계 존재
- 문제해결형 융·복합 기후기술 개발과 확산을 위하여 이를 통합적으로 지원할 수 있는 플랫폼 기반의 솔루션 필요
  - 플랫폼은 데이터 정보 전달이라는 고유 역할 이외에도 기술협력의 매개체 및 교류 공간으로서 기능 확대 필요

### □ 연구의 목적 및 내용

- 기후위기 극복을 위한 융·복합 기후기술 개발 및 국제협력 지원을 위한 데이터 정보플랫폼 구축을 목표로 플랫폼 기획 및 개발 추진
  - 주요 콘텐츠는 기후변화 주요 이슈, 데이터 정보, 융·복합 기후기술 패키지 및 온라인 협력 등으로 구성
  - 에너지 주요 이슈 및 사례 분석 등을 통하여 융·복합 기후기술 패키지 및 인벤토리를 솔루션으로 도출하고 이를 지원하기 위한 플랫폼(PLANET) 기능 구축

### □ 연구방법론 및 추진체계

- 에너지 문제해결형 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구축을 통하여 탄소중립 목표 이행과 기후변화대응에 기여
  - 1단계에서 수립된 정보화전략계획(ISP)에 기반한 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼의 정의 및 기능 설계 추진
  - 수요자 맞춤형 융·복합 기후기술 패키지 및 인벤토리 확보
  - 데이터 정보플랫폼의 사용자가 효율적으로 소통 및 협업할 수 있는 온라인 환경 구축

## II. 기후문제 해결을 위한 융·복합 정보플랫폼 선행연구 분석

### □ 문제해결을 위한 R&D 및 정책 연구 프로그램 추진현황 분석

- 주요국은 분야를 넘어선 기술간 융·복합화를 촉진하는 동시에 사회문제에 대한 대응능력을 제고하기 위해 다학제 연구 지원을 강화
  - 단일 분야를 대상으로 프로젝트 공모를 실시하기보다는 다양한 분야를 포괄하는 임무(Mission)을 설정하는 방식으로 기술간 장벽을 넘는 기술 통합(integration)을 도모
  - 신규 프로그램 출범 과정에서 자매 R&D 프로젝트들의 추진경과 및 성과 활용방안에 대해 사회와 소통하고 결과를 연구개발에 환류하는 역할을 전담하는 프로젝트를 포함하거나 상향식 초학제 연구를 담당하는 별도의 연구영역에 대한 공모를 진행
- 초학제연구를 위해 다양한 이해관계자들의 능동적인 참여를 촉진하고 있으며, 이에 초점을 맞춘 커뮤니케이션 지원 방법론을 개발하는 연구도 병행하는 추세

### □ 융·복합 기후기술 정보 플랫폼 운영 현황 분석

- 모호성이 강한 사회문제에 효율적으로 대응하기 위해 다양한 목적으로 관련 데이터 수집·축적하는 경우가 증가
  - 단순히 관련 정보를 축적하는 경우도 많으나, 일부에서는 이해관계자들이 관련 정보를 맵핑 등의 방법으로 직관적으로 파악하기 쉽도록 가공하는 경우가 많음
- SNS 방식을 차용하여 온라인으로 전문가, 정책결정자, 일반시민 등 다양한 이해관계자들이 서로 정보 및 노하우를 공유하고 논의를 이어갈 수 있도록 하드웨어를 지원하는 경우도 등장

### □ 융·복합 기후기술 정보 플랫폼 구축 방향에 대한 시사점

- 최근 국내·외 문제해결형 R&D 관련 정보 플랫폼 구축 동향은 하기 3개 흐름 하에 진행
  - 이해관계자간 원활한 의견교환을 지원할 수 있는 방법론 개발
  - 이해관계자간 지식격차를 완화하기 위한 데이터 제공 강화
  - 쌍방향 이해관계자간 의견교환을 지원하기 위한 시스템 도입
- 상기 사항을 고려하여 문제해결을 위한 융·복합 기후기술 정보 플랫폼 구축할 경우, 이해관계자의 이해도 제고를 위한 데이터 제공 기능 뿐만 아니라 상호논의를 효율적으로 지원할 수 있는 기능을 포함해야할 필요성이 있음

## III. 문제해결형 융·복합 정보플랫폼의 설계 및 구성을 위한 증거기반의 주요 콘텐츠 분석

### □ 기후문제 해결을 위한 신재생에너지 분야의 주요 이슈

- 신재생에너지의 효과적 전환을 위해 에너지 분야의 주요 이슈 분석 필요
  - 에너지 믹스와 전환 손실 : 에너지 안보를 위한 다양한 에너지원의 확보 필요
  - 신재생에너지 간헐성 : 신재생에너지(태양광, 풍력) 특성상 지역, 계절 및 시간에 따른 전력생산량 편차와 수급 불안정성 발생

- 전력 수요-공급간 불일치 : 신재생에너지 보급 확대에 따른 순부하 변동폭 및 출력제어 비중 증가
- 전력계통 한계 및 출력제한 : 중앙집중형 수요-공급 시스템의 송배전 전력망 용량 부족에 따라 설비 확대 필요
- 주민 수용성 : 발전설비 설치에 따른 환경 훼손, 생태계 파괴 및 인체위해성을 우려한 민원 제기
- 에너지 저장 장치의 한계 및 안전성 : ESS 저장장치의 충·방전시 전기적 결합 및 관리 미흡에 따른 화재 발생
- 경제적 타당성 : 신재생에너지 보급 및 확대에 따른 발전단가 및 전기요금의 상승

□ 융·복합 기후기술 패키지 도출과 세부기술 인벤토리

- 에너지 분야의 7대 주요 이슈들을 해결하기 위해서는 다양한 분야의 기술을 활용한 융·복합 R&D 수행 및 적극적인 적용이 필수
  - 문제해결을 위한 국내 융·복합 기후기술 실증 사례 분석 : 신재생에너지 분산발전을 활용한 에너지 자립섬, 친환경에너지타운 및 산업지원을 위한 에너지 융·복합 단지 등
  - 문제해결을 위한 국외 융·복합 기후기술 실증 사례 분석 : P2G & HyBECCS
  - 융·복합 기후기술 패키지(P2G)의 기술 동향 파악 및 패키지를 구성하는 주요 기술에 대한 인벤토리 구축

IV. 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PLANET) 개발

□ 정보화전략계획(ISP)에 기반한 데이터 정보플랫폼 기획 및 개발 방향

- 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼은 ISP 수립을 위한 환경분석, 현황분석, 정보화 비전 및 전략수립, 목표모델 설계, 통합이행계획의 단계를 거쳐 기획
  - ‘기후변화’ 라는 문제를 중심에 두고 이를 해결하기 위한 방안으로서 융·복합 기후기술을 도출하고 이를 개발할 수 있는 도구(toolkit)로서의 역할을 수행
- ‘PLANET (PLAtform for NET-zero technologies)’ 으로 명명된 본 플랫폼은 문제진단, 융복합 기후기술 패키지, 기술협력을 주요 기능으로 탑재
  - 국내·외 기후기술 정보를 공유하고 기후변화대응을 위한 협력을 지원하여 공공 오픈데이터 상호활용을 촉진하고 다학제 개방형 기술협력의 허브 기능을 수행
- PLANET은 에너지 분야 7대 이슈를 주축으로 이를 해결하기 위한 융복합 기후기술 솔루션을 제안·기획·수행할 수 있는 온라인 상의 플랫폼으로 구현
  - 시스템 측면에서 안정적 확장성, 기구축된 온라인 시스템(CTis 등)과의 연계성, 사용자 편의성 등을 우선적으로 고려하여 설계

- 기후변화 주요 이슈 분석을 통한 융·복합 연구 방향 제시
  - 기후변화와 관련된 현안들을 제시하여 이를 해결하기 위한 융·복합연구 개발의 목표와 방향성 도출을 지원
  
- 기후기술 데이터 수집 및 정보제공을 위한 데이터Lab 서비스
  - 사용자가 원하는 위치에서의 예상 태양광 발전량, 잠재 그린수소 생산량, 지역별·회사별 발전량 및 온실가스 배출량, 태양광 및 풍력 발전에 따른 지역별 온실가스 감축량, 지자체 에너지 계획 등의 자료 제공
  
- 융·복합 실증 사례 중심의 기술패키지 및 인벤토리 정보
  - 최근 기후변화와 관련하여 새롭게 제안되거나 유망한 융·복합 기술에 대한 정보를 수록하여 기후위기 대응을 위한 기술솔루션 모색 지원
  
- 융·복합 기후기술 R&D 협업 지원 시스템 구축
  - 연구자간의 자유로운 상호작용을 통해 융합기술의 혁신환경을 제공하기 위하여 온라인 협력 공간을 구축

## V. 결론

- 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PLANET) 활용과 시사점
  - 융·복합 기후기술 데이터 정보를 통합적으로 제공하고 다양한 식견과 전문지식을 가진 이해관계자들이 소통·협업할 수 있는 PLANET의 기획 및 개발
    - 기후변화문제에 대한 현황 진단, 데이터 기반의 기후기술 정보, 융·복합 기후기술 솔루션 및 사용자 온라인 협력과 관련된 기능을 할 수 있도록 구성
    - 기후문제 해결을 위한 정보 및 협업 지원을 통하여 문제해결형 융·복합 R&D 과제 및 사업기획을 포함하여 다양한 형태의 실효적 협업을 기대
  
- 향후 플랫폼 고도화 및 인프라 구축 방안
  - PLANET 개발 및 활용을 위한 이해관계자 사전수요 결과, 정보의 단순 전달보다는 데이터 통합분석 등의 기능 고도화 요구

- PLANET의 주요 수요들은 기후기술 정보공유 및 확산, 문제해결형 도전과제 발굴, Best practice 기반 융합연구 기획, 다학제 기후기술협력 네트워크 활용 등이 포함
- PLANET의 상위 플랫폼인 국가기후기술정보시스템(CTis)의 고도화 및 지식공유 활성화 방안과 연계하여 지속적인 기능강화 및 콘텐츠 확대가 필요
- 단기적으로는 에너지 문제에 한정하였던 융복합 기후기술 패키지 분야를 적용분야까지 확대·적용하거나 탄소중립 시뮬레이션 및 시나리오 모형 등의 연구결과를 주요 콘텐츠로 연계·활용
- 중장기적으로는 신규 정보화 기능, 데이터 현행화, 수요자 맞춤형 고도화 기획 및 전략 수립 등을 지속적으로 반영하여 인프라 확충 및 정보화 활용도 제고

# 목 차

제1장 서 론 .....	1
제1절 연구의 배경 및 필요성 .....	1
1. 연구의 배경 .....	1
2. 연구의 필요성 .....	2
제2절 연구의 목적 및 내용 .....	3
제3절 연구방법론 및 추진체계 .....	4
제2장 기후문제 해결을 위한 융·복합 정보플랫폼 선행연구 분석 .....	5
제1절 문제해결을 위한 R&D 및 정책 연구프로그램 추진현황 분석 .....	5
1. 문제해결형 R&D 추진현황 분석 .....	6
2. 문제해결형 R&D 지원 정책연구 프로그램 추진 현황 분석 .....	13
제2절 문제해결형 데이터 정보 플랫폼 운영 현황 분석 .....	17
1. 독일 - 수소 아틀라스 .....	17
2. 영국 - 에너지 혁명 통합 서비스 .....	18
3. 스위스 - TD-NET .....	20
4. 일본 - 너트셸(Nutshell) .....	21
5. 한국 - 사회문제해결플랫폼 .....	21
제3절 융·복합 기후기술 정보플랫폼 구축 방향에 대한 시사점 .....	23
제3장 에너지 관련 주요 이슈 및 기술패키지 .....	24
제1절 기후문제 해결을 위한 신재생에너지 부문의 주요 이슈 .....	25
1. 에너지믹스와 전환 손실 .....	25

2. 신재생에너지 간헐성 .....	29
3. 전력 수요-공급간 불일치 .....	33
4. 전력 계통 한계 및 출력 제한 .....	35
5. 주민 수용성 .....	39
6. 에너지 저장 장치의 한계 및 안정성 .....	49
7. 경제적 타당성 .....	54
<b>제2절 융·복합 기후기술 패키지 도출과 세부기술 인벤토리 .....</b>	<b>58</b>
1. 에너지 문제해결을 위한 국내 융·복합 기후기술 실증사례 .....	62
2. 에너지 문제해결을 위한 국외 융·복합 기후기술 실증사례 .....	72
3. 에너지 문제해결을 위한 P2G 기술 패키지 및 주요 기술 인벤토리 .....	81
<b>제4장 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PLANET) 개발 .....</b>	<b>99</b>
제1절 정보화전략계획(ISP)에 기반한 데이터 정보플랫폼 기획 및 개발 방향 .....	99
제2절 기후변화 주요 이슈 분석을 통한 융·복합 연구 방향 제시 .....	109
제3절 기후기술 데이터 수집 및 정보제공을 위한 데이터Lab 서비스 .....	110
1. 데이터 표준화 정의 및 필요성 .....	110
2. 신재생에너지 발전량 데이터 표준화 과정 .....	111
3. 표준화 데이터 활용 .....	118
4. 발전량 및 온실가스 배출량 .....	124
5. 지자체 에너지 계획 .....	130
제4절 융·복합 실증 사례 중심의 기술패키지 및 인벤토리 정보 .....	135
1. 기술 패키지 .....	135
2. 기술 인벤토리 .....	136
3. 융·복합 실증사례 .....	144
4. 국외 융·복합사례 .....	144
제5절 융·복합 기후기술 R&D 협업 지원 시스템 구축 .....	145
1. 기후문제제기 .....	145
2. 융·복합기술제안 .....	145

3. 신규사업정보 .....	146
4. 협력제안 .....	147

**제5장 결론 .....** 148

제1절 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PLANET) 활용과 시사점 .....	148
---	-----

제2절 향후 플랫폼 고도화 및 인프라 구축 방안 .....	150
----------------------------------	-----

[별첨 1] 태양광 발전 사업소 총괄 데이터셋 .....	151
---------------------------------	-----

[별첨 2] 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 전문가 설문조사 .....	152
---	-----

**참고문헌 .....** 159

# 표 목 차

<표 2-1> 수소공화국 독일 공모에서 선정된 3대 프로젝트의 구성 현황 .....	8
<표 2-2> 에너지시스템 캐터필트에서 제공하는 주요 수단 .....	19
<표 3-1> 제주도 신재생에너지 누적 보급용량(설비용량) 추이 .....	35
<표 3-2> 연도별 제주 풍력발전 출력제한 현황 .....	37
<표 3-3> 주요국의 분산에너지 정책 추진 현황 .....	38
<표 3-4> 주민수용성 관련 장애요인 .....	44
<표 3-5> 신규 신재생에너지 발전소를 반대하는 이유 조사 결과(바이오매스 분야) .....	44
<표 3-6> 고택연료 발전소에 대한 인식 .....	45
<표 3-7> 수소와 관련하여 가장 먼저 떠오르는 연상-참여자가 가장 빈번하게 언급한 단어 수 .....	45
<표 3-8> 재생에너지 수용성 저해 요인과 정부 정책 .....	47
<표 3-9> 이익공유제도의 유형 .....	47
<표 3-10> 비합리적 편향의 예 .....	48
<표 3-11> 에너지 저장장치의 종류 .....	50
<표 3-12> P2G를 활용한 에너지 부문의 주요 문제 해결 .....	59
<표 3-13> 국내 주요 융·복합 발전 실증사업 사례: 에너지 자립섬 사업 .....	63
<표 3-14> 국내 주요 융·복합 발전 실증사업 사례: 도시 및 마을의 융·복합 발전 .....	65
<표 3-15> 국내 주요 융·복합 발전 실증사업 사례: 에너지 산업의 융·복합 단지 .....	67
<표 3-16> 국내 주요 융·복합 발전 실증사업 사례: P2G 기반의 그린수소 생산 .....	69
<표 3-17> JUPITER1000 실증사업 개요 .....	72
<표 3-18> JUPITER1000 실증사업의 주요 참여 기업 개요 .....	73
<표 3-19> H <sub>2</sub> MARE 실증사업 개요 .....	75
<표 3-20> Biohydrogen Greenhouse Gas Removal Demonstration 사업 개요 .....	78
<표 3-21> P2G 와 Li-ion battery 비교 .....	82
<표 3-22> AEL, PEMEC, SOEC 개략도 및 반응식 .....	82
<표 3-23> 수전해 기술별 기술경제적 특성 및 장기목표 .....	83
<표 4-1> 정보화 추진 방향성 도출 결과 .....	103
<표 4-2> PLANET 메뉴 및 기능 .....	107

<표 4-3> 신재생에너지 기반 전기 발전량 표 준화 데이터셋 요약 .....	116
<표 4-4> 연도별 한전 자회사 온실가스 배출량 .....	127
<표 4-5> 연도별 한전 자회사 발전량 .....	127
<표 4-6> 연도별 한전 자회사 발전단위당 온실가스 배출량 .....	128
<표 4-7> 바이오매스기반 Carbon Negative 수소생산 융복합 기술 패키지 구성 기술 목록 예시	136
<표 4-8> 기후기술 분류체계 .....	137
<표 4-9> 45대 기후기술 세부분류 목록 .....	138

# 그림 목 차

[그림 1-1] 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구성도 및 주요 기능 .....	3
[그림 1-2] 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 연구 추진 체계 .....	4
[그림 1-3] 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 비전 및 목표 수립 체계도 .....	4
[그림 2-1] 단일학제, 복수학제, 참여, 다학제, 초학제 연구의 개념의 차이 .....	5
[그림 2-2] 에너지전환을 위한 코페르니쿠스 프로젝트의 최초 구성 .....	7
[그림 2-3] GCRF의 전체 구조 중 UKRI 소관 부분 .....	12
[그림 2-4] 인도 쿠데드 거주 여성 그룹에서 수행된 SUNRISE의 공동체 참여 활동 .....	13
[그림 2-5] 스위스예술과학한림원-취리히공과대학에서 공동개발한 도구상자 예시 .....	13
[그림 2-6] 목적별 걱정 톨 매칭 .....	15
[그림 2-7] Question Ladder .....	15
[그림 2-8] 독일 수소아틀라스 상의 P2X 인벤토리 .....	18
[그림 2-9] 에너지시스템 캐터펄트의 데이터 플랫폼 화면 .....	19
[그림 2-10] Technology Data Repository 중 미래수소 생산지 데이터 .....	19
[그림 2-11] Toolbox 상의 방법론 .....	20
[그림 2-12] 프로젝트 기획 단계별 점검사항 및 걱정 방법론 매칭 예시 .....	20
[그림 2-13] 넷셸 주요 기능 구성 .....	21
[그림 2-14] 사회문제해결플랫폼 구성화면 .....	22
[그림 3-1] WEF 관련 융·복합 기후기술 모델: 바이오매스를 활용한 수소생산 .....	24
[그림 3-2] 국내 1차 에너지 및 발전원 믹스 .....	26
[그림 3-3] 1990~2020년 우리나라의 에너지 수입 의존도 및 석유 의존도 .....	26
[그림 3-4] 2020년 말 기준 전 세계 원자력 발전량 .....	27
[그림 3-5] 2010~2020년 전 세계 석탄, 재생에너지, 가스 및 원자력 발전 비중(%) 변화 추이 .....	28
[그림 3-6] 국내 에너지 밸런스 현황 .....	28
[그림 3-7] 전지구 수평일사량(좌)과 태양광 발전 잠재량 분포(우) .....	29
[그림 3-8] 계절별 연간 일조시간 .....	30
[그림 3-9] IEA Wind 21 개국의 연간 풍력발전 이용률 (좌)과 우리나라 풍력발전 이용률 (우) .....	31
[그림 3-10] 전지구 평균 풍속(좌)과 2021년 풍력 발전량(우) .....	31
[그림 3-11] 10m 고도 풍속의 월별, 시간별 시계열 .....	32

[그림 3-12] 80m 고도 계절별 풍속 분포 .....	32
[그림 3-13] 전력 수요와 신재생에너지를 통한 전력 공급 불균형 예시 .....	33
[그림 3-14] 캘리포니아 독립 시스템 운영자의 순부하 변화 패턴 .....	34
[그림 3-15] 미국의 1월 및 7월 전력계통 시간별 수요 패턴 .....	34
[그림 3-16] 재생에너지 확대가 전력계통에 미치는 영향 .....	35
[그림 3-17] 제주도 전력설비용량의 변화 .....	36
[그림 3-18] 제주도 전력계통, 단위 만kW .....	37
[그림 3-19] 미국의 독립 시스템 운영자 별 신재생에너지 보급률 대비 출력 제어 비중 .....	38
[그림 3-20] 재생에너지 혁신의 사회적 수용성 삼각형 .....	39
[그림 3-21] 신재생에너지 보급 용량(신규) .....	41
[그림 3-22] 월별 태양광 발전 관련 민원 제기 건수의 월별추이 .....	42
[그림 3-23] 민원유형별 비중 .....	42
[그림 3-24] 장애요인별 풍력사업의 용량 및 개수 .....	43
[그림 3-25] 유희부지를 활용한 태양광 설치 사례 .....	46
[그림 3-26] ESS 시스템 구성도 .....	49
[그림 3-27] 에너지저장기술별 에너지용량(X), 에너지저장기간(Y) .....	51
[그림 3-28] 울산 SK에너지/에너지저장장치 화재 .....	51
[그림 3-29] 한국전력시험센터 ESS 화재 .....	51
[그림 3-30] 글로벌 ESS 리튬이온전지 수요 전망 .....	53
[그림 3-31] 탄산리튬 가격 .....	53
[그림 3-32] 글로벌 리튬이차전지용 양극재 시장수요 전망 .....	53
[그림 3-33] 신재생에너지 확대에 따른 전기요금 인상 설문조사(n=1,091) .....	54
[그림 3-34] 유틸리티 규모의 에너지원별 LCOE .....	55
[그림 3-35] 그린수소 생산단가 절감 개요 .....	56
[그림 3-36] 전해기 및 전력 비용에 따른 그린수소 생산단가 전망 .....	56
[그림 3-37] 에너지 발전-전력망-소비 전단계별 7대 에너지전환 이슈 연관 및 해결과제 .....	61
[그림 3-38] 가사도 마이크로그리드 시스템의 구조 및 배치도 .....	62
[그림 3-39] 에너지 자립섬 실증사업에 활용된 주요 기후기술의 빈도 .....	64
[그림 3-40] 홍천 친환경에너지타운 실증사업 .....	64
[그림 3-41] 국내 친환경 도시 및 마을의 융복합 실증사업에 활용된 주요 기후기술의 빈도 .....	66
[그림 3-42] 새만금 에너지산업 융복합 단지 내 발전단지 개요 .....	66

[그림 3-43] 산업단지의 용·복합 에너지 실증사업에 활용된 주요 기후기술의 빈도	69
[그림 3-44] (a) P2G 기반의 그린 수소 실증 사업에 활용된 주요 기후 기술의 빈도/ (b) 국내 주요 용복합 발전 실증사업 사례별 기후기술 믹스	71
[그림 3-44] (b) 국내 주요 용·복합 발전 실증사업 사례별 기후기술 믹스	72
[그림 3-45] JUPITER1000 실증사업 현장 전경	73
[그림 3-46] JUPITER1000 실증사업 추진체계	74
[그림 3-47] JUPITER1000과 지역산업 연계	74
[그림 3-48] JUPITER1000의 CO <sub>2</sub> 조달 경로	74
[그림 3-49] JUPITER1000 실증사업 추진 일정	75
[그림 3-50] H <sub>2</sub> MARE 실증사업 개념도	76
[그림 3-51] 고온 수증기 수전해 반응 개념도	77
[그림 3-52] H <sub>2</sub> MARE 참여기관 구분 및 위치	78
[그림 3-53] H <sub>2</sub> MARE 실증 시행 장소	78
[그림 3-54] Biohydrogen Greenhouse Gas Removal Demonstration의 주요 공정	79
[그림 3-55] Advanced Biofuel Solution의 바이오 수소 생산 실증 플랜트	80
[그림 3-56] P2G 기본 개념 및 주요 반응식	81
[그림 4-1] 정보화전략계획(ISP) 구성 단계	99
[그림 4-2] 용·복합 기후기술 데이터 플랫폼 ISP의 환경분석 추진 체계	100
[그림 4-3] 용·복합 기후기술 데이터 플랫폼 환경 분석 시사점 도출(안)	100
[그림 4-4] 용·복합 기후기술 데이터 플랫폼 ISP의 현황분석 추진체계	101
[그림 4-5] 용·복합 기후기술 데이터 플랫폼 ISP의 현황 분석 결과	102
[그림 4-6] 목표 시스템 비전 및 주요 기능	103
[그림 4-7] 용복합 기후기술 데이터·정보플랫폼 명칭 및 로고 디자인	104
[그림 4-8] PLANET 구성 핵심 3요소	104
[그림 4-9] 참여한 융합연구의 성공적 진행 여부	106
[그림 4-10] PLANET 시스템 구성도	107
[그림 4-11] PLANET 데이터 수집 및 활용 프로세스 모식도	108
[그림 4-12] PLANET 메인 화면 PC 버전(좌)과 모바일 버전(우)	108
[그림 4-13] PLANET 메인 화면 및 기후문제 메뉴 내 에너지믹스와 전환손실 이슈 인포그래픽 예시	109
[그림 4-14] 공공데이터포털(data.go.kr)에서 시간별 태양광 발전량 원 데이터 수집 과정 예시	112

[그림 4-15] 발전사별 신재생에너지 기반 전기발전량 원 데이터 형식 .....	113
[그림 4-16] 발전사별 신재생에너지 기반 전기발전량 원 데이터 형식 .....	113
[그림 4-17] 표준화 데이터 예시 .....	114
[그림 4-18] 신재생에너지 기반 전기발전량 데이터 표준화, 데이터 품질 관리 및 데이터베이스 구축 .....	115
[그림 4-19] 신재생에너지 기반 시간별 전기 발전량 데이터 품질 관리 Python 코드	116
[그림 4-20] 태양광 발전 사업소 총괄 데이터셋 예시 .....	117
[그림 4-21] 신재생에너지 사업소 ID 지정 규칙 .....	117
[그림 4-22] GIS 기반 태양광 발전소 위치, 세부 정보, 발전량 제공 예시 .....	118
[그림 4-23] 기간별 태양광 발전량 예시 .....	119
[그림 4-24] 사용자 선정 위치, 반경 및 설치용량에 따른 예상 일 태양광 발전량 산정 예시 ..	119
[그림 4-25] 연간 온실가스 예상 감축량 및 전기(수소)차 전환 효과 예시 .....	122
[그림 4-26] 사용자 지정 이용량에 따른 예상 그린수소 생산량 표출 방식 예시 .....	124
[그림 4-27] 회사별 발전량 데이터 수집 과정 예시 .....	125
[그림 4-28] 회사별 온실가스 배출량 데이터 수집 과정 예시 .....	126
[그림 4-29] 환경부 광역지자체 기준 지역별 온실가스 인벤토리 예시 (서울) .....	128
[그림 4-30] 태양광·풍력 발전사업에 의한 지자체별 온실가스 감축량 산정 결과 .....	129
[그림 4-31] 지자체 에너지 계획 요약본 예시 (서울 및 충청남도) .....	130
[그림 4-32] 융·복합기술 내 기술패키지 메뉴 예시 .....	135
[그림 4-33] 기술 인벤토리 예시 .....	143
[그림 4-34] 융·복합기술 내 융·복합 실증사례 메뉴 예시 .....	144
[그림 4-35] 융·복합기술 내 국외 융·복합사례 메뉴 예시 .....	144
[그림 4-36] 온라인 협력 내 기후문제제기 메뉴 예시 .....	145
[그림 4-37] 온라인 협력 내 융·복합기술제안 메뉴 예시 .....	146
[그림 4-38] 신규사업정보 메뉴 예시 .....	146
[그림 4-39] 온라인 협력 내 협력제안 메뉴 예시 .....	147
[그림 5-1] PLANET 메뉴 간 연계 예시 .....	149

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 배경 및 필요성

### 1. 연구의 배경

최근 세계는 심각한 기후변화 문제와 코로나19 팬데믹 등으로 인하여 사회·환경·경제 전반에 걸쳐서 새로운 대변화와 기준들이 나타나고 있다. 2022년에도 유럽과 중국 서부 지역이 극심한 가뭄에 시달렸던 반면 파키스탄에서는 폭우로 국토의 1/3이 물에 잠기는 등 사상 최악의 홍수를 겪었다. 우리나라도 이와 같은 기후문제에서 예외일 수 없으며, 2000년대 들어서 그 피해 규모는 점점 더 커지고 있다. 특히, 2020년 이상기후로 인하여 역대 최장의 장마를 겪었으며, 2022년에도 80년 만에 발생한 시간당 141.5mm의 기록적인 강수량으로 인하여 서울 지역에서 많은 인명 피해와 수백억의 경제적 피해가 발생하였다. 이와 같이 전 세계의 기후위기가 심화되고 있음에도 불구하고, 2022년 러시아의 우크라이나 침공으로 인하여 전 세계의 에너지, 식량, 사회적 불평등 문제는 갈수록 심화되고 있으며, 이로 인해 기후변화대응 추진력은 더욱 약화되고 있다.

위와 같은 전 세계 기후위기를 극복하기 위하여, 주요 국가들은 탄소배출량 감축목표(NDC)를 강화하고 이를 이행하기 위하여 국가주도의 정책지원과 혁신 기술개발 투자를 확대하고 있다. 그러나 불행하게도, 195개 당사국 가운데, 2030 탄소배출량 감축목표를 이행하고 있는 국가는 20개국을 넘지 않는 것으로 보고되었다. 이러한 한계 극복을 위하여, 2022년 11월 이집트에서 개최 예정인 제27차 당사국 총회(COP27)의 의장국은 올해 당사국 총회의 핵심 목표가 ‘이행(implementation)’임을 강조하고 각 국의 지원 공약과 감축 목표 이행을 촉구하고 있다. 이러한 온실가스의 감축 목표 이행과 함께 개도국이 직면한 적응 문제를 상호보완적으로 해결하기 위하여 감축기술과 적응기술의 융·복합화 수요도 국제사회에서 지속적으로 강조되고 있다. 복잡성과 다양성으로 대변되는 기후난제의 특성상, 개별 기술만으로 솔루션을 제공하고 감축목표를 이행하는 데에는 한계가 존재하기 때문에 이를 해결하기 위하여 기후기술의 융·복합화가 필요하기 때문이다. 이와 관련된 대표적인 사례로는 물-에너지-식량 연계(Water-Energy-Food Nexus, WEF) 기반의 융·복합 솔루션이 대표적이다. 즉, 에너지 전환을 통하여 시급한 온실가스 감축 문제를 완화하는 동시에 공급이 제한된 물과 식량자원의 효율적 활용과 통합적 관리를 통하여 기후적응을 강화해 나가는 것이 요구되고 있다.

기후난제는 물, 에너지, 식량은 물론 각종 산업 및 사회 인프라 등의 다양한 섹터에서 복잡한 형태로 영향을 미치고 있기 때문에 통합적 접근과 지원이 요구되고 있다. 따라서 국제사회에서는 기후기술 혁신과 확산의 통합적 접근을 위한 정책적 투자와 기술협력을 증대하고 있고, 융·복합 기후기술에 대한 RD&D와 성과확산 효율화 방안을 확대하고 있다. 이와 함께 급속히 발전되어 가는 ICT 기술을 적극 활용하여 융·복합 기후기술 개발을 지원할 수 있는 플랫폼 기반의 솔루션을 마련해나가고 있다. 혁신 융·복합 기후기술의 개발과 함께 추진되고 있는 다양한 정보플랫폼들은 기술개발 및 협력의 효과성을 높이는 동시에, 데이터 구축, 프로그램 기획,

성과 모니터링 등 전주기적 사업 수행의 핵심동력으로 그 활용도가 높아지고 있다.

## 2. 연구의 필요성

제1절 연구 배경의 내용과 같이 기후난제의 해결은 혁신 기후기술의 연구개발을 필요로 할 뿐만 아니라 이를 효과적으로 지원할 수 있는 전주기 혁신활동이 필요하다. 특히, 문제해결형 기후기술의 개발과 협력은 수요분석-유망기술 매칭-RD&D 기획-기술개발-기술실증-사업화 등의 단계를 가지며, 성공적인 기술개발과 확산을 위하여 이를 통합적으로 지원할 수 있는 플랫폼 기반의 솔루션 마련이 필요하다. 기후변화 문제는 난제의 특성상 개별 기술만의 대응으로는 한계가 있어서 다양한 기술이 결합된 기후기술 패키지 도입과 관련 지식정보의 통합을 모색하는 과정이 요구된다. 따라서 다양한 혁신 기후기술이 결합된 융·복합 기후기술을 통합 지원하는 정보플랫폼은 문제해결 중심의 융합연구 기획 강화와 함께 정보 확산 및 기술협력을 위한 협업의 장으로서 그 중요성이 부각되고 있다.

**(기후변화 주요 이슈 분석)** 기후변화 문제는 모든 국가의 안보를 저해하는 경제적·환경적·사회적 주요 이슈로서 이례적인 극한 기상현상에 따른 에너지 안보, 물 수요-공급 간 불균형, 식량 부족 등의 주요 현안을 포함하여 복잡하고 다양한 문제들이 포함되어 있다. 따라서 기후문제에 대한 솔루션을 효과적으로 제시하기 위해서는 1차적으로 다양한 인과관계가 복잡하게 얽힌 주요 이슈들을 심층 분석하는 것이 필요하다. 기후변화로 인해 세계가 당면한 부문별 문제점과 주요 이슈가 무엇이고 이를 해결하는 과정에서 발생할 수 있는 애로사항들을 선제적으로 검토함으로써 향후 혁신 기후기술개발과 협력을 위한 방향성을 제시하는 것이 필요하다. 또한, 선행 사례들을 분석하고 기후난제 특성상 단일 기술 차원의 접근보다는 통합적 솔루션과 전주기 기반의 혁신 기술개발이 필요하다.

**(융·복합 기후기술 패키지 도출)** 그동안 전 세계는 기후문제의 대한 솔루션의 일환으로 많은 유망 기후기술들을 발굴하고 상용화하여 관련 산업을 활성화시킴으로써 기후위기를 극복하고자 하였다. 이러한 기후기술 연구개발과 실증사례 분석을 통하여 향후 기후변화 대응수단으로서 기술의 혁신과 융합에 대한 해법을 파악하는 것이 필요하다. 이러한 과정 등을 통하여 미래 유망 융·복합 기후기술 패키지 및 사업모델들을 도출하고, 이를 구성하는 주요 기술 인벤토리를 파악함으로써 향후 기술수요 기반의 미래 산업과 시장을 선도할 수 있을 것으로 기대된다.

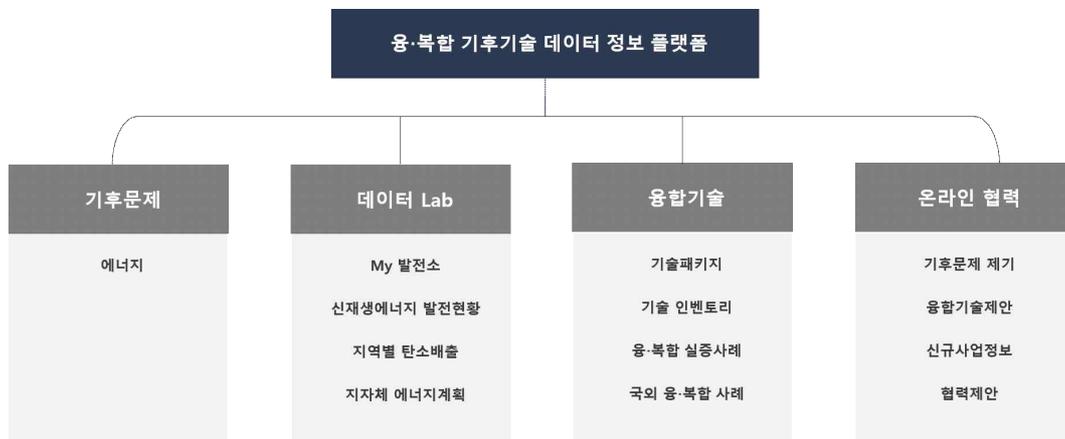
**(데이터 정보플랫폼 기획 및 개발)** 최근 융·복합 기후기술 연구의 패러다임은 단순히 이종기술 간의 결합을 추구하기보다는 다학제적인 관점에서 해법을 다각적으로 모색하고 사회적 가치를 창출하는 방향으로 변화하고 있다. 이와 같은 목적을 위해서는 주요 이슈, 유망 기후기술 정보 및 이해관계자들 간의 온라인 협력공간이 필요하다. 데이터 기반의 정보플랫폼은 융·복합 기후기술과 관련된 정보를 신속하게 전달하는 고유의 역할도 중요하나 기후문제 해결을 위한 기술협력의 매개체이자 교류의 공간으로서 기능의 확대가 필요하다. 이를 통해 기존의 분절화된 기후기술 정보들을 연계·통합하고 관련 데이터를 수집·분석하여 사용자맞춤형 정보를 제공함으로써 융·복합 기후기술 R&D 성과확산은 물론 기술기반의 협력지원 플랫폼의 역할이 가능하다.

## 제 2 절 연구의 목적 및 내용

본 연구는 2021년부터 녹색기술센터 기술총괄부의 다년도 신규과제로 시작하게 되었던 ‘**융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구축 및 인벤토리 연구**’의 2차 년도 연구내용에 관한 것이다.

연구의 목표는 기후위기 극복을 위한 ‘**융·복합 기후기술 개발 및 국제협력 지원을 위한 데이터 정보플랫폼 구축**’이다. 이와 같은 최종 목표 달성을 위하여 1차 년도 연구에서는 정보화전략계획(ISP)에 기반한 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 기획 연구를 수행하였으며, 2차 년도에서는 수립된 ISP를 활용하여 문제해결형 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼을 구축하고자 하였다. 플랫폼 구성도 및 주요 기능은 [그림 1-1]과 같으며, **기후변화 주요 이슈, 데이터 정보, 융복합 기후기술 패키지 및 온라인 협력 등의 콘텐츠**를 포함하고 있다.

[그림 1-1] 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구성도 및 주요 기능

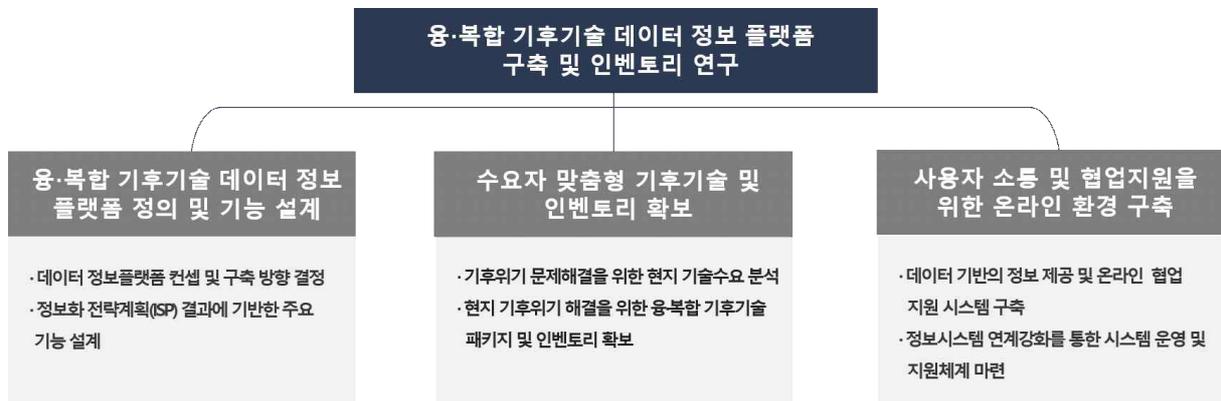


본 연구 보고서의 제 1장에서는 최근 기후변화 주요 이슈와 WEF Nexus 관련 융·복합 기후기술 개발 및 지원 필요성 등을 제시하였고 데이터 정보플랫폼 개발 방향 및 주요 내용에 대하여 기술하였다. 제 2장에서는 기후문제 해결을 위한 융·복합 정보플랫폼의 선행연구 분석 등을 통하여 향후 플랫폼 개발 및 운영에 대한 시사점을 도출하고자 하였다. 제 3장에서는 기후문제 해결을 위한 신재생에너지 부문의 7가지 주요 이슈와 국내·외 융·복합 기후기술 실증사례 분석을 실시하였다. 이와 같은 과정을 통하여 신재생에너지 주요 이슈를 상당 부분 해결할 수 있는 P2G 기술패키지를 대안으로 도출하였다. P2G 기술은 단일 기술이라기보다 신재생에너지, 수전해, 가스화 및 저장 기술 등이 결합된 기술패키지로서, 본 연구에서는 P2G 기술패키지를 구성하는 여러 가지 세부 기술들 중, 수전해 기술을 중심으로 상세 기술 인벤토리를 구축하였다. 제 4장은 2단계로 개발된 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PLANET)에 관한 연구내용으로, 데이터 정보플랫폼 기획 및 개발 방향에 입각하여 구성된 주요 메뉴와 기능을 소개하고 있다. 특히, 온라인 협업 지원 시스템 구축을 통하여 사업기획 및 기술협력을 활성화하고자 하였다. 마지막으로 제 5장에서는 1~2단계에 걸쳐서 개발된 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼에 대한 수요자 의견과 시사점 분석을 통하여 향후 실효적인 플랫폼 운영 방향과 고도화 방안 등을 마련하고자 하였다.

### 제 3 절 연구방법론 및 추진체계

1~2단계로 나누어 추진된 ‘융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구축’ 연구는 심각한 기후위기를 극복할 수 있는 솔루션을 제공하기 위한 것이다. 제 2차 년도에서는 에너지 문제해결형 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼을 구축을 통하여 탄소중립 목표 이행과 기후변화대응에 기여하고자 하였다. 본 연구에서 수행된 주요 연구과제들은 [그림 1-2]와 같이 크게 세부분으로 나누어 추진되었으며, ① 정보화전략계획에 기반한 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 정의 및 기능 설계, ② 수요자 맞춤형 융·복합 기후기술 패키지 및 인벤토리 확보, ③ 사용자가 효율적으로 소통 및 협업할 수 있는 온라인 환경 구축 연구를 포함하고 있다.

[그림 1-2] 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 연구 추진 체계



[그림 1-3]은 정보화전략계획을 통해 수립된 데이터 정보플랫폼의 목표 수립 체계도를 나타내며, 향후 지속적인 플랫폼 고도화 및 운영관리를 통해 기후변화대응에 기여하는 것을 목표로 하고 있다.

[그림 1-3] 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 비전 및 목표 수립 체계도

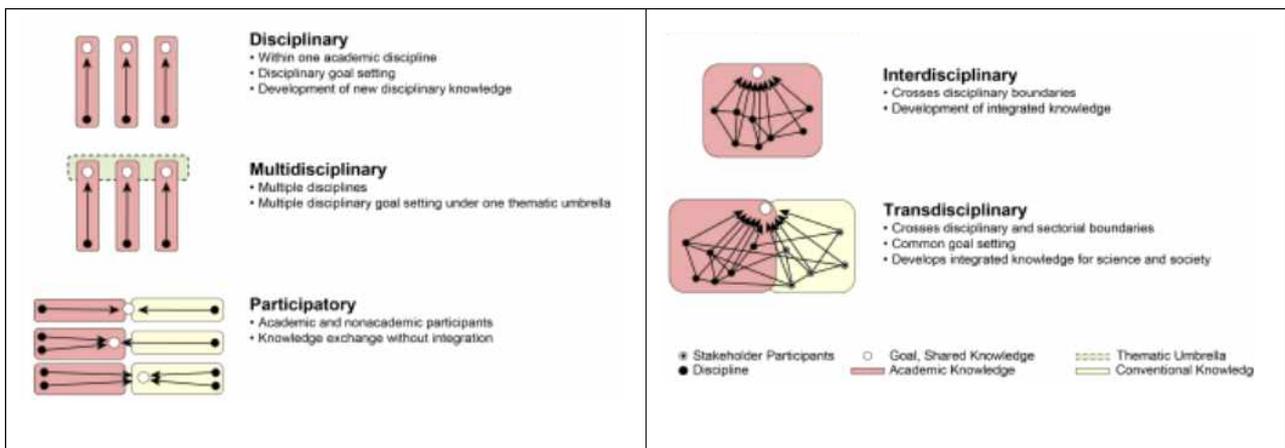


## 제 2 장 기후문제 해결을 위한 융·복합 정보플랫폼 선행연구 분석

### 제 1 절 문제해결을 위한 R&D 및 정책 연구프로그램 추진현황 분석

2002년 미국 상무부(DOC) 및 국립과학재단(NSF)에서 발표한 ‘인류의 성과 향상을 위한 융합 기술(Converging Technologies for Improving Human Performance)’ 보고서를 계기로 주요국별로 융합기술 연구개발이 가속화되기 시작했다. 융합기술의 정의는 연구에 따라 상의하나 대체로 공통의 문제해결을 위해 성질이 다른 2종 이상의 기술들 간의 화학적 결합을 뜻하며 다학제간 연구를 통해 도출된 기술<sup>1)</sup>로 볼 수 있다. 다학제 개념 역시 서로 다른 두 종 이상의 연구 분야간의 연구로, 복수학제 연구(multidisciplinary research), 참여 연구(Participatory Resarch), 다학제 연구(Interdisciplinary Research), 초학제 연구(Transdisciplinary Research) 등의 유사 개념들이 있으며, 일부에서는 이에 대한 개념을 굳이 구분하지 않고 혼용하여 쓰는 경우도 다수 있다. 이러한 혼용사례들은 다양한 기술 분야의 참여 및 협력을 통한 연구라는 점에서는 공통점에서 기인하나, 엄밀하게 볼 때 그 연원 및 목적 등 세부적인 부분에서 서로 차이가 있는 개념이다. OECD(2020)에서는 각 용어를 다음과 같이 구분하고 있다 : 복수학제 연구의 경우에는 하나의 주제 하에서 각 분야별로 개별적인 목표를 세워 집중하는 형태이며, 참여 연구의 경우에는 학계와 학계 이외의 참여자들이 참여하여 통합없이 지식을 교환하는 형태이다. 다학제간 연구는 다양한 분야를 넘나드는 지식들을 통합하여 발전시켜 나가는 과정이 포함되며, 초학제 연구는 다학제간 연구보다 범위를 확장하여, 다양한 분야의 연구자들과 학계가 아닌 참여자들을 통합하여 공통의 목표를 향해 새로운 지식과 이론을 창출해나가는 연구로 정의된다.<sup>2),3)</sup>

[그림 2-1] 단일학제, 복수학제, 참여, 다학제, 초학제 연구의 개념의 차이



출처 : Morton et al. (2015)

1) 과학기술정책지원서비스, 융합기술. Retrieved from : <https://han.gl/nFWGF>(Accessed on 22-10-21).

2) OECD. (2020), "Addressing societal challenges using transdisciplinary research", OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 88, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/0ca0ca45-en>.

3) Wright Morton, L., S. Eigenbrode and T. Martin (2015), "Architectures of adaptive integration in large collaborative projects", Ecology and Society, Vol. 20/4, <http://dx.doi.org/10.5751/es-07788-200405>.

초학제라는 용어와 개념 자체는 이미 1972년 OECD의 학제간 연구 및 교육 국제컨퍼런스에서 부터 비롯되었으나, 일반에 그리 알려진 개념은 아니었다. 초학제 연구의 위상 강화에는 사회적 난제의 등장 이 일조한다. 기존에는 사회적 문제에 대한 명확한 정의가 일정 수준 가능했었고, 그에 따라 유효한 해결책을 기획하여 추진해나갈 수 있었다. 그러나, 최근에는 난제로 분류 되는 사회적 문제들은 명확한 정의를 하기 어렵고, 서로간의 인과관계도 불명확하다는 특성을 가진다. 이에 따라 개별적인 기술 분야 뿐만 아니라, 학계의 연구자가 아닌 다양한 참여자들의 지식을 통합할 필요성이 높아지고 있으며, 이러한 필요성에 기인하여 초학제적 접근 방식의 중요성이 부각되고 있는 것이다. 연구자 뿐만 아니라 다양한 참여자들의 적극적인 참여 하에 구축되었던 COVID19 대응 체계가 그 일례이다. 이러한 사례들이 축적되면서 연구자들로 하여금 사회적 이해관계자들과 대화하여 상호 학습해 나가고, 과학이 사회적 과정의 일부가 되어 기여 할 수 있어야 한다는 인식이 점점 고조되고 있는 상황이다. 이미 주요국에서는 COVID19 이전 시점에서부터 임무지향적 혁신정책을 채택하면서 R&D 프로그램 내 연구개발이 진행될 경우 생길 수 있는 경제사회적 문제에 사전에 대응하는 프로젝트를 함께 포괄하여 진행하는 다학제 혹은 초학제적 연구 프로그램을 운영하는 경우가 증가하고 있었으며, 이러한 초학제 연구 관련 정책을 지원하기 위한 수단 및 도구(tool)를 개발하는 연구 프로그램 자체도 활발히 진행되고 있다. 현재 초학제 연구가 활발히 진행되고 있는 주요국을 대상으로 문제해결형 R&D와 이를 지원하기 위한 정책연구 프로그램을 살펴보면 아래와 같다.

## 1. 문제해결형 R&D 추진현황 분석

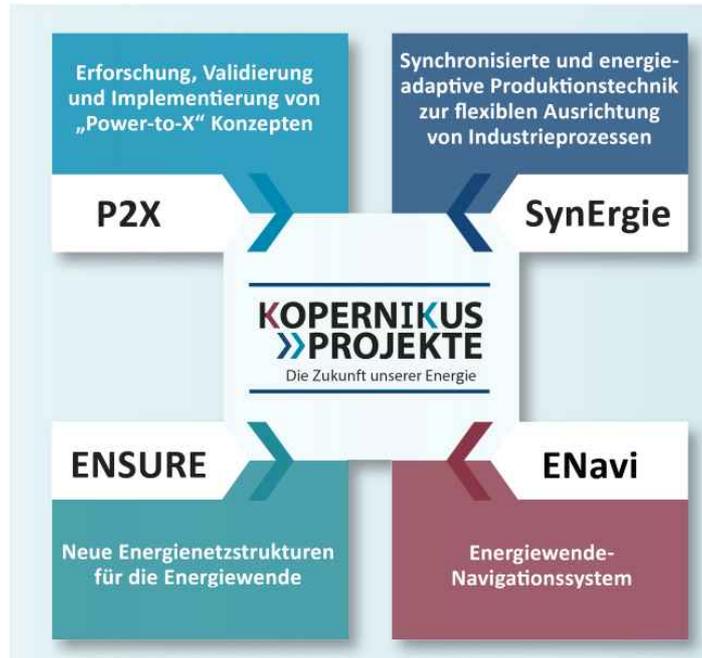
### 가. 독일

독일은 기술혁신 분야 최상위 계획인 하이테크전략 2025(2018)에서는 대응해야하는 사회적 도전 분야를 설정하고 각 분야별로 임무를 설정하여 각 임무 밑에서 다양한 분야의 프로젝트 들이 구성될 수 있도록 하는 임무지향적 혁신정책 형태를 취하고 있다. 이후 독일에서 최근 신규로 출범하고 있는 연구개발사업들을 살펴보면, 대부분 각 프로그램별로 각 담당 연구개발 분야 관련 경제사회적 이슈에 대한 사전 대응 및 커뮤니케이션 역할을 수행하는 프로젝트 혹은 세부 프로젝트들을 포함하는 경향이 늘어나고 있다. 우리나라에서도 R&D 사업단 단위에서 R&D와 관련된 정책 및 성과확산을 지원하는 세부과제들을 포함하는 경우가 다수 있다. 그러나 독일의 경우는 R&D와 별개로 정책 및 성과확산을 지원하는 것이 아니라, 기술개발과 관련한 사회와의 커뮤니케이션과 함께 사회의 논의 동향을 모니터링 및 분석하고, 이에 대한 연구 결과를 기술개발을 담당하는 자매 R&D 프로젝트에 환류함으로써 R&D 과제들이 사회 문제에 보다 긴밀하게 대응하게끔 하는 결정적인 기여를 하고 있다. 아래에서는 독일의 기후변화 관련 대표적인 프로그램인 에너지연구프로그램을 통해 추진되는 세부사업 및 프로젝트들을 중심으로 현황을 살펴보도록 한다.

## (1) 에너지전환을 위한 코페르니쿠스 프로젝트(Kopernikus Projekte für die Energiewende)

에너지전환을 위한 코페르니쿠스 프로젝트는 2016년 에너지 전환을 위한 혁신기술을 개발하기 위한 목적으로 출범한 플래그쉽 연구개발사업이다. P2X, 전력계통망 안정(ENSURE), 산업공정의 녹색화(SynErgie), 에너지전환을 위한 과학기술-인문사회 연계(ENavi) 등 4개 영역으로 구성된 사업으로 사업 자체가 초학제 연구사업의 성격을 띠도록 설계되었다.

[그림 2-2] 에너지전환을 위한 코페르니쿠스 프로젝트의 최초 구성

출처 : DECHEMA (2016)<sup>4)</sup>

이 중 과학기술-인문사회와의 연계를 담당하고 있는 ENavi 프로젝트의 경우, 2단계에 접어들면서 보다 역할을 강화하여, 최적의 정책적 판단을 위해 사회적 변화, 기술의 잠재적 파급효과 등을 종합적으로 평가함으로써 현행 정책을 지속적으로 보완하여 발전해나가는 발판을 마련하는 내용으로 역할이 강화되었다. 이 2단계 프로젝트의 정식 명칭은 ‘아리아드네 - 독일의 에너지전환을 형성하기 위한 증거기반 평가(Ariadne - Evidenzbasiertes Assessment für die Gestaltung der deutschen Energiewende)<sup>5)</sup>’로, 정책제언 도출을 위해 녹색(Grünbuch)-백서(Weißbuch) 프로세스를 거치고 있다. 녹색 프로세스는 정책결정자, 시민 등 이해관계자들의 참여와 소통 하에 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 모든 자원 및 수단을 체계적으로 검토하여 사용가능한 정책 수단들을 도출하는 점에 주안점을 두고 있으며, 백서 프로세스는 녹색의 다음 단계에서 진행되는 것으로, 녹색 프로세스에서 도출된 정책 수단에 대한 사회적 수용가능성을 검토한다. 아리아드네 프로젝트는 같은 에너지전환을 위한 코페르니쿠스 프로젝트에서 연구개발을 담당하는 자매 프로젝트에게 경제사회적 수요 및 사회적 변화를 연구개발 과정에서 반영할 수 있도록 피드백을 행하는 역할도 함께 수행하고 있다.

4) DECHEMA. (2016). Visionspapier : Energie Generation 2030

5) <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/ariadne>

(2) 수소 컴퍼스(H<sub>2</sub>Kompass)

2021년에 출범한 H<sub>2</sub>-Kompass 또한 에너지연구프로그램의 일환으로 수행되는 프로젝트<sup>6)</sup>이다. 동 프로젝트는 연방기후보호부 및 연방교육연구부가 공동으로 지원하고 있으며, 다수의 이해관계자들이 참여 및 협력하는 절차를 거쳐 수소 관련 혁신의 진척 상황을 파악하는 것과 동시에 수소 로드맵 작성에 필요한 데이터 및 증거에 기반한 틀을 개발하는 것을 주요 내용으로 하고 있다. 산·학·연·관, 시민사회, 행정기관 등 다양한 이해관계자간 대화를 통해 수소경제 전개 과정에서 필요한 생태적, 경제적, 사회적 영향을 검토하여 사회 전반의 이해를 높이는 작업을 수행하며, 주로 현재 독일공학한림원(Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; acatech) 및 독일화학바이오기술협회(Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.; DECHEMA)가 주관하여 수행되고 있다. 동 프로젝트는 2023년까지 약 2년간 진행될 예정이며, 중간산출물로서 지난 2022년 초에는 성공적인 수소경제 추진을 위한 이해관계자들의 인식조사 결과보고서<sup>7)</sup>를 발표하는 등 활발한 활동을 전개하고 있다.

(3) 수소공화국 독일(Wasserstoffrepublik Deutschland)<sup>8)</sup>

독일연방교육연구부(BMBF)에서는 국가수소전략을 이행하기 위한 목적으로 2021년 대규모 프로젝트 공모인 ‘수소공화국 독일(Wasserstoffrepublik Deutschland)’ 를 진행하여 대형 플래그쉽 프로젝트 3개를 출범하였다. 동 프로젝트들은 H<sub>2</sub>GIGA, H<sub>2</sub>MARE, TransHyde 등 3개 프로젝트로 각각 수전해 장치 기술 개발, 그리드 연계 없이 해상풍력을 직접 활용한 P2G 기술, 수소 운송 기술 개발을 담당하고 있다. 이 수소공화국 독일에서 선정된 프로젝트들은 에너지전환을 위한 코페르니쿠스 프로젝트의 경우와 마찬가지로 각 담당 영역에서의 기술적 해결방안 모색과 함께 기술개발과 연관된 경제사회적 이슈 대응을 담당하는 세부 프로젝트들을 포함하고 있다. 예를 들어, 수전해 기술개발을 담당하는 H<sub>2</sub>GIGA의 경우에는 기술개발과 사회와의 지식 갭을 채우기 위한 목적으로 수행되는 Innovationspool, H<sub>2</sub>MARE의 경우에는 TransferWind, TransHyDE은 Forschungsverbände 과제를 두고 있다. 이 세부 프로젝트들은 자매 세부 프로젝트의 연구 결과의 확산 과정에서 발생할 수 있는 경제사회적 이슈를 자매 프로젝트에 환류하여 연구개발 과정에서 이를 사전에 대응할 수 있는 토대를 마련하는 역할을 수행하고 있다.

<표 2-1> 수소공화국 독일 공모에서 선정된 3대 프로젝트의 구성 현황

프로젝트명	세부프로젝트명	주요 내용
H <sub>2</sub> GIGA	Scale-up	- 수전해 장치 대량생산을 위한 공정 및 소재 등 연구
	Next Generation Scale-up	- 차세대 수전해 장치 제조단가 저감 및 제조공정 단순화를 등을 위한 다양한 부품과 공정 기술 개발
	Innovationpool	- 연구 수요 및 과학에 대한 지식격차 해소를 위한
H <sub>2</sub> MARE	OffgridWind	- 수전해 장치와의 통합을 위한 새로운 풍력 터빈 개발 풍력터빈으로 제조된 수소의 저장 및 본토 수송방안 연구

6) <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/06/20210602-Bundesregierung-startet-Wasserstoff-Kompass.html>

7) H<sub>2</sub>KOMPASS. (2022). Auf dem Weg in die Wasserstoffwirtschaft : Resultate der Stakeholder\*innen-Befragung.

8) <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de>

	H <sub>2</sub> Wind	- 염분 등 해양의 혹독한 환경을 견딜 수 있는 수전해 장치 및 수처리 기술개발
	PtX-Wind	- 생산된 녹색수소로 메탄, 메탄올, 암모니아 등 화학제품 생산 대기 및 해양으로부터 직접 이산화탄소 및 질소를 조달하는 방안 연구
	TransferWind	- H <sub>2</sub> MARE 프로젝트 전반을 조감하여 안전성, 환경 등 이슈 및 인프라 요구사항에 관한 대응 방안 연구
TransHyDe	Mukran	- 독일 북동해안 항구인 무크란(Mukran)에서 진행되는 프로젝트로, 혁신적인 고압 수소 저장 탱크 개발 ※ H <sub>2</sub> MARE와 연계하여 생산된 녹색수소의 일시적으로 저장하는 기술 개발 포함 - 선박으로 무크란에서 함부르크까지 수소 운송을 시험
	Get-H <sub>2</sub>	- 가스 파이프라인을 통한 수소 수송 관련 소재 개발, 안전성 테스트 등
	Campfire	- 수소 수송 수단으로 활용되는 암모니아의 수송 및 활용에 관한 기술개발 및 실증
	Helgoland	- H <sub>2</sub> MARE에서 생산된 녹색수소를 파이프라인을 따라 헬골란트 등 격지로 운송하거나, LOHC로 전환*하여 선박으로 운송하는 등 해상, 육상에 걸친 수소 운송망을 실험 * 이의 일환으로 헬골란트에 LOHC로부터 수소를 추출하는 플랜트를 건설하고 있음
	Forschungsverbände	- 각 세부 프로젝트간 협력 하에 수소 운송 과정에서 발생할 수 있는 전반적인 이슈(사고 안전성, 생태적 효과 등)를 조감하고, 제도적 프레임워크를 위한 기반 마련

출처 : Wasserstoff-leitprojekte 홈페이지 내용을 토대로 연구진 작성

## 나. 프랑스

### (1) 국립연구청(ANR) 일반프로젝트 공모 - 횡단축 분야(지속가능과학)

(ANR AAPG - Axes transversaux(Science de la durabilité))

프랑스의 국립연구청(Agence de Recherche Nationale; ANR)은 프랑스의 기초·원천 단계의 연구개발을 지원하는 연구관리전문기관으로, 매해 일반프로젝트공모(Appel à projets générique)를 진행하고 있다. 통상적으로 환경과학, 에너지·재료과학, 디지털 과학, 생명과학, 인문사회과학, 수학 및 상호작용, 재료물리학과에너지·행성과학 등 7대 분야 및 19개의 횡단축에 관한 연구공모를 진행하며, 기후변화 대응과 관련된 초학제적 연구 분야는 횡단축(Axes Transversaux) 중 지속가능과학(Axe H.1 : Science de la durabilité)을 통해 지원<sup>9)</sup>하고 있다. 동 분야는 자연과 인간의 사회경제시스템과의 복잡한 상호 작용과 그 영향을 연구하는 주제로, 과학에 기반하여 사회적 문제에 대한 해결책을 모색하는 것에 초점을 두고 있다. 환경, 역사, 문화, 법학, 경제 사회적 등 특정 분야에 국한하지 않는 다양한 측면에서의 접근을 요구하고 있으며, 이러한 분야의 특성상, 선정 평가 과정에서도 다양한 분야가 참여하는 학제간 연구에 해당하는지 여부가 주요하게 작용한다. 이 분야에서 대표적인 프로젝트 중 하나는, 프랑스 국립농업식량환경연구원(INRAE)에서 수행하고 있는 프로젝트인 COLLAB<sup>210)</sup>이다. 동 프로젝트는 학제간 혹은 초학제간 연구에서의 협력활동 자체에 초점을 맞춰 설문조사, 심층 인터뷰 등을 통해 연구협력의 역할, 정체성 등을 규명하는 연구를 수행하고 있다.

9) ANR. (2022). Appel à projets générique 2023, Version 2.0 actualisée en date du 21 septembre 2022.

10) <https://anr.fr/Projet-ANR-19-CE03-0002>

(2) Belmont Forum과의 협력적 연구 활동(Collaborative Research Action(CRA))

벨몬트 포럼은 환경변화 연구에 관한 자금지원을 활성화하기 위한 목적으로 2009년에 출범한 국제 파트너십<sup>11)</sup>으로, 미국과학재단(NSF), 영국 자연·환경연구회(NERC), 프랑스 국가환경연구연맹(ALLENVI), 일본과학기술진흥기구(JST) 등 환경 분야에 대한 연구관리전문기관이 회원기관으로 활동하고 있다. 동 파트너십에서는 글로벌 환경변화 적응 및 완충, 해석 및 이해를 위한 지식을 확보하는 국제 초학제연구를 지원하는 ‘벨몬트 챌린지(Belmont Challenge)’를 설립하였으며, 동 챌린지의 주요 내용은 첨단 관측 시스템을 통한 환경 상태에 관한 정보 향상, 지역 단위 분석 및 예측을 통한 위기·영향·취약성평가, 저탄소 사회로의 정책 평가, 전 세계적 인 삶의 수준 향상을 위한 대안 분석, 천연자원의 최적활용 및 회복 관련 연구, 지구 생태다양성 보호, 전세계적인 도시화 관리를 위한 선택지 검토 등 기후변화 적응 및 온실가스 감축 기반 형성에 관한 연구를 포괄하고 있다. 이 포럼의 프랑스 측 회원기관인 국립환경연구연맹(ALLENVI)은 육수(陸水), 생태다양성, 기후, 해양, 위기 등 연구에 관하여 조정 및 정책자문 역할을 수행하는 가상의 싱크탱크로, 국립과학연구센터(CNRS), 국립연구청(ANR), 원자력및대체에너지청(CEA), 프랑스 기상청(Météo France) 등 12개 연구기관 및 연구관리전문기관이 참여하고 있다. ANR과 ALLENVI는 2020년 벨몬트 포럼과 연계한 시행되는 협력적 연구 활동(Collaborative Research Action(CRA))의 일환으로 초학제적 연구 프로젝트에 대한 지원 계획을 발표하고 프로젝트를 공모하였다. 동 연구의 공모명은 “지속가능성으로의 경로에 관한 초학제적 연구”로 초학제적 도구(Transdisciplinary tools)를 포함한 총 11개의 연구 주제 포괄하며, 참여 요건으로서 폭넓은 인문사회과학 연구자, 자연과학 및 기술 분야 연구자 및 이해관계자의 적극적인 프로젝트 참여 하에 공동기획 및 개발을 진행할 것을 설정<sup>12)</sup>하였다. 공모 결과 총 13개의 연구 네트워크가 선정(총 136명 참여)<sup>13)</sup>되었는데, 초대형 홍수 이후 남은 위협요인에 대응하기 위한 프레임워크 구축(RREFlood)과 아프리카에서의 지속가능개발을 공동으로 창조하는 경로를 모색하는 과제(SDG-PATHFINDING) 등 초학제적 접근을 통한 도구를 개발하는 프로젝트들이 다수 포함되어 있다.

다. 영국

(1) 산업전략과제기금(Industrial Strategy Challenge Fund; ISCF)

2017년 테리사 메이 총리의 취임을 계기로 영국은 영국의 생산성과 경쟁력을 향상시킨 경제체제를 구축하기 위한 새로운 산업전략(Industrial Strategy)을 발표하였다. 이 전략은 임무지향적 혁신정책 형태로 수립된 최초의 정책으로 평가되며, AI 및 데이터, 청정성장, 수송의 미래, 고령화사회 등 4개 분야의 도전과제(Grand Challenge)를 설정하고 이에 대응하기 위한 임무(Mission)를 제시하는 형식으로 추진되었다. 4대 도전과제에 대한 임무의 설정은 임무지향적 혁신정책 도입을 주창했던 UCL의 마리아나 마추카토(Mariana Mazzucato) 교수의 주도 하에 수행되었다. 4대 도전과제 중 청정성장(Clean Growth)이 온실가스 감축과 밀접한 연관성<sup>14)</sup>이 있으

11) <https://www.belmontforum.org/>

12) <https://anr.fr/fileadmin/documents/2020/Pathways2020Announcement-PressRelease.pdf>

13) Belmont Forum. (2021). Pathways to Sustainability Project Brochure. Retrieved from : <https://belmontforum.org/wp-content/uploads/2021/09/Pathways-Project-Brochure.pdf> (Accessed on 2022-10-25)

14) 동 분야에 대한 전략인 ‘청정성장전략(Clean Growth Strategy)’는 영국 최초의 장기 저탄소 발전전략으로서 국제사회에 제출된 바 있음.

며, 이 도전과제에 대응하기 위해 설정된 임무로서 ① 2030년까지 신축 건물의 에너지 사용량을 적어도 절반 이하로 감축, ② 2030년까지 적어도 1개의 저탄소산업 클러스터 조성하고 2040년에는 세계최초의 넷제로 클러스터 조성 등 2개 임무를 설정하였다.

영국은 영국연구혁신기구(UK Research and Innovation)에 산업전략과제기금(Industrial Strategy Challenge Fund; ISCF)를 조성하여 산업전략상의 4대 도전과제 분야에 대한 연구개발을 지원<sup>15)</sup>하고 있다. 이중 청정성장 분야에는 발전·전환 및 연관 산업 부문의 탈탄소화 기술개발에 해당하는 산업 탈탄소화, 저가형 원자력, 제조업 혁신, 에너지혁명으로부터의 변형, 스마트하고 지속가능한 플라스틱 패키징, 건축의 변혁, 식량생산 변혁, 기반산업의 변혁 등 8개의 세부 과제(Clean Growth Challenges)들이 운영<sup>16)</sup>되고 있다. 이 중 지역 에너지 시스템의 지능화를 담당하는 ‘에너지혁명으로부터의 변형<sup>17)</sup>’ 세부과제에서 주로 신재생에너지, 에너지 효율화 등 발전·전환 부문 기술개발이 다뤄지고 있다. 이 세부과제의 프로젝트 중 EnergyREV은 지역 에너지 시스템의 지능화에 수행 및 영향력을 가속화하기 위한 목적으로 수행되는 연구로, 이를 위해 실질적으로 활용가능한 모델, 데이터 및 툴 개발, 지식의 공유 등을 통한 지식의 통합 역할<sup>18)</sup>을 수행하고 있다. 이 과정에서 다양한 층위의 분야 및 이해관계자간 협력 이해관계자 교류<sup>19)</sup>를 통한 지식의 통합 등의 역할을 수행하고 있다.

## (2) 글로벌 과제 연구 기금(Global Challenges Research Fund; GCRF)

글로벌 과제 연구 기금은 개도국들이 직면하고 있는 과제들에 대응하기 위한 횡단적 연구를 지원하는 기금으로, 과학기술 ODA<sup>20)</sup>의 일환으로 운영되고 있다. 2016년~2021년까지 약 5년간 운영 예정이었으나, 2022년 2월 BEIS의 발표로 인해 향후에는 현재와 동일한 형태로 운영되지 않을 것으로 전망되고 있다. 구체적인 형태는 아직 밝혀지지 않은 상태이나, 아직 수행기간이 남아있는 프로젝트에 대한 자금지원은 중단없이 진행<sup>21)</sup>되고 있는 것으로 파악된다.

본 기금은 국제연합에서 주창한 지속가능개발목표(SDGs)의 달성을 연구 및 기술혁신을 통해 최대화를 운영 목적으로 두고 있다. 이에 따라, 지속가능개발을 위한 형평성 있는 접근권, 지속가능한 경제 및 사회, 인권·건강한 거버넌스 및 사회정의 등 3개 주제를 설정하였으며, 도시 및 지속가능한 인프라, 교육, 식량 시스템, 글로벌 보건, 환경 변화 및 충격에 대한 복원력, 안보·장기 분쟁·난민 위기 및 강제이주 등 6개의 글로벌 전략 과제 포트폴리오(Global Strategic Challenge Portfolio)를 구성하여 기금을 운영하고 있다.

국립아카데미, 영국우주청(UK SPACE), 영국연구혁신기구(UKRI) 등 다수 기관이 참여하고 있으며, 이 중 영국연구혁신기구(UKRI)는 연구개발보조금(Grant) 이외 세부 프로그램에는 도전 리더(Challenge leaders), 다학제 연구 허브(Interdisciplinary Research Hubs)와 연구역량 양성(Growing Research Capability(GROW)) 프로그램<sup>22)</sup>을 관할한다.

15) National Audit Office. (2021). UK Research and Innovation's management of the Industrial Strategy Challenge Fund, Session 2019-2021, 5 February 2021.

16) <https://www.ukri.org/what-we-offer/our-main-funds/industrial-strategy-challenge-fund/clean-growth/>

17) <https://han.gl/SPryu>

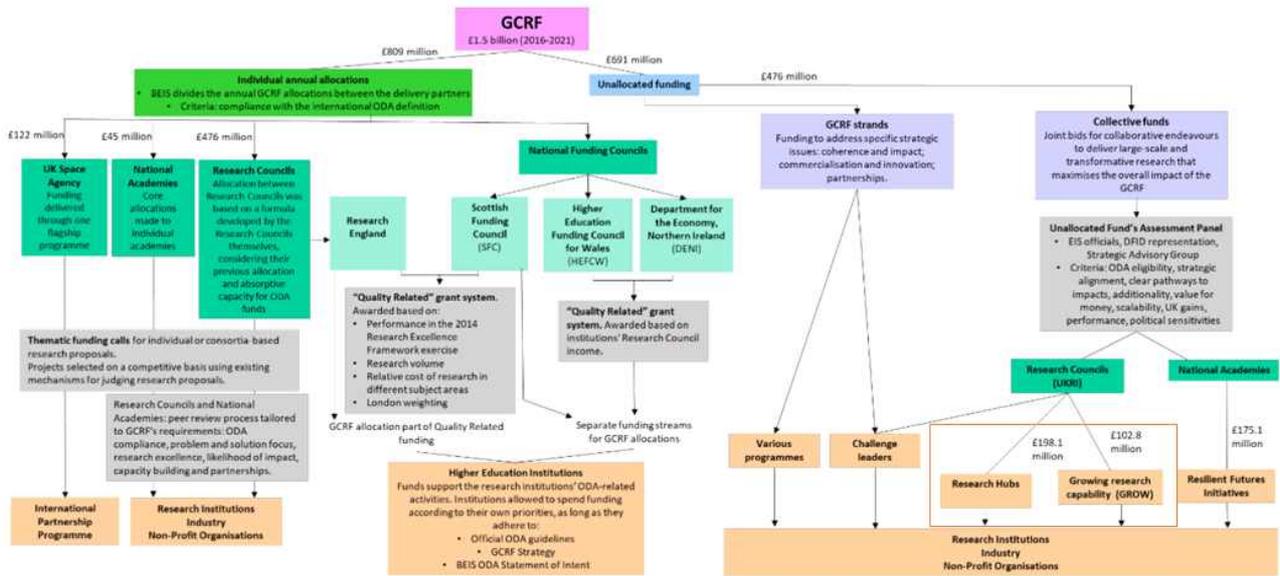
18) UKRI. (2022). Smart local energy systems: the energy revolution takes shape. Retrieved from : <https://han.gl/anDPL> (Accessed on : 2022-10-18).

19) C.Vigurs, C.Maidment, M.Fell and D.Shipworth. (2022). What works for multi-stakeholder, multi sector collaborations for smart local energy systems?, October 2022, EnergyREV. Retrieved from : <https://han.gl/ItpSjo> (Accessed on : 2022-10-11).

20) <https://www.ukri.org/what-we-offer/international-funding/global-challenges-research-fund/#contents-list>

21) UKRI. (2021). Update following 2021 Spending Review-GCRF and Newton Fund - 18 November 2021.

[그림 2-3] GCRF의 전체 구조 중 UKRI 소관 부분



출처 : BEIS (2022) 중 UKRI 소관 영역 표시(Grant 제외)

상기 3개 세부 프로그램들은 모두 다학제 혹은 초학제적 성격을 지니고 있다는 특색이 있다. 도전 리더 프로그램은 앞서 언급한 6대 포트폴리오 분야 중 환경 충격 및 변화에 대한 복원력을 제외한 5개 분야에 대한 리더를 설정하여 연구계 및 학계, 정책결정자 및 공동체와의 다양하고 형평성 있는 파트너십 구축을 주요 내용으로 하고 있다. 학제간 연구 허브는 수자원 안보 및 지속가능 개발, 도심 재난 리스크, 무역·개발 및 환경, 남아시아 질소(South Asian Nitrogen), 살아있는 삼각주(Living Deltas) 등 특정 학문분야가 아닌 다학제적 테마<sup>23)</sup>를 지원대상으로 하고 있다. 연구역량양성 사업은 개도국 및 지역의 특정 과제에 대응하기 위한 전문성 및 숙련도를 향상하기 위한 37개 프로젝트로 구성되어 있다. 이 중 대표적인 초학제적 프로젝트로 거론<sup>24)</sup>되는 것은 스완지(Swansee) 대학이 주관하는 Sunrise 프로젝트이다. 이 프로젝트는 개도국에 실제 활용가능한 저비용 건물일체형 태양광발전 기술 개발을 주요 내용으로 하고 있으며, 차세대 태양광 발전 이외에도 연관 기술인 에너지 저장 및 조명, 청정연료기술 등의 개발 및 실증에 관한 내용을 포괄하고 있다. 이 프로젝트는 비록 공학의 연구자가 주도를 하고 있으나, 이외 다양한 분야의 연구자 및 인도의 거주민 공동체에 이르기 까지 다양한 분야 및 이해관계자들을 포괄하여 추진하고 있다는 특색이 있다. 지역 거주민의 경험 및 전통적인 지식 도출 등 지역사회 공동체와의 협력에 전문성이 있는 인문사회과학자들이 이 과정에 적극 참여하였으며, 모든 협력자들의 참여 하에 작업계획을 수행하고 있다.

22) BEIS. (2022). Stage 1a: Review of Management Processes : Evaluation of the Global Challenges Research Fund.  
 23) UKRI. (2019). UKRI GCRF Global Interdisciplinary Research Hubs: Building global research communities to develop innovative and sustainable solutions for international development.  
 24) OECD(2020), op. cit.

[그림 2-4] 인도 쿠데드 거주 여성 그룹에서 수행된 SUNRISE의 공동체 참여 활동



출처 : SUNRISE NETWORK 홈페이지<sup>25)</sup>

## 2. 문제해결형 R&D 지원 정책연구 프로그램 추진 현황 분석

### 가. 스위스 - 스위스예술과학한림원(Swiss Academy of Arts and Sciences)

스위스예술과학한림원은 과학 분야간 네트워크 형성 및 현안 이슈에 대한 지식기반 정책 자문 등의 역할을 수행하는 기관으로, 2008년부터 초학제적 연구를 지원하기 위한 네트워크(Network for Transdisciplinary Research)인 td-net을 운영하고 있다. 이 td-net은 초학제 및 다학제간 연구를 통해 공동으로 지식을 생산하기 위한 방법론 및 도구를 개발하는 우수연구센터(Center of Excellence)로서의 역할과 함께, 분야를 초월한 연구자·교육자들간의 상호 학습을 촉진하기 위한 플랫폼을 제공하는 역할을 함께 수행하고 있다.

지식의 공동생산을 위한 방법론은 취리히공과대학(Eidgenössische Technische Hochschule Zürich; ETH-Zürich)의 USYS TdLab과의 협력하에 공동 개발<sup>26)</sup>된 것들이다(2017-2021). EU에서 지원하는 다학제연구 프로젝트인 SHAPE-ID의 일환으로 추진되는 프로젝트<sup>27)</sup>로, 유럽의 정책결정자, 자금지원기관, 대학 및 연구자들에게 인문사회와 과학기술간의 성공적인 지식 통합을 위한 정책적 권고 및 도구(toolkit)을 제공하기 위한 목적에서 추진되고 있다.

[그림 2-5] 스위스예술과학한림원-취리히공과대학에서 공동개발한 도구상자(Toolbox) 예시

<p><b>Toolbox</b></p> <p>The USYS TdLab develops together with the td-net of the Swiss Academies a toolbox for the co-production of knowledge <sup>26)</sup> co-production between different scientific disciplines and between science and society. The various tools offered have all been successfully used and tested in different teaching and research environments by the TdLab or the td-net. They are simple and straightforward and thus can be applied in any research or teaching project. The TdLab offers conceptual guidance for the application of these tools.</p> <p style="text-align: right;">+ Open all</p>	Actor constellation	+
	Constellation analysis	+
	Delphi	+
	Design Thinking	+
	Emancipatory boundary critique	+
	Functional-dynamic stakeholder involvement	+
	Give-and-take matrix	+
	Most significant change	+

출처 : USYS TdLab 홈페이지

25) <http://www.sunrisenetwork.org/news/community-involvement-with-the-people-of-khuded>

26) 스위스 메르카토르 재단(Stiftung Mercator Schweiz)의 지원을 받아서 수행 중임.

27) <https://tdlab.usys.ethz.ch/research/advancing.html>

#### 나. 포츠담 변혁적지속가능성연구소

(Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung Potsdam; IASS Potsdam<sup>28)</sup>)

독일의 대표적인 기후변화 관련 연구개발 프로그램인 FONA 프로그램은 주요 테마별 연구개발 지원 이외에도 국제협력 및 연구 인프라(Forschungsinfrastrukturen)<sup>29)</sup>에 대한 지원도 수행하고 있다. FONA 프로그램을 통해 지원받고 있는 연구인프라는, 연구선, 연구비행선, 연구잠수함 등의 연구 장비 인프라 이외에도 우수연구센터/연구소 등도 지원대상 연구인프라의 범주에 포함하고 있다. 이 중 포츠담 혁신적지속가능성연구소(IASS Potsdam)는 지속가능성에 필요한 생태적·경제적·정치사회적 측면에 관한 연구를 수행하는 연구기관으로, 연구자/정책결정자/기업 등 다양한 이해관계자와 과학 사이의 연결고리를 제공하는 플랫폼 역할을 수행하면서 지속가능성 관련 정책 제언을 도출하는 것을 주요 역할<sup>30)</sup>로 하고 있다. IASS는 분야별 다학제적 연구 그룹의 활동에 의해 연구가 수행되는데, 해결해야 하는 문제에 대한 이해도 제고 및 적절한 해결방안 모색을 위해 과학기술 뿐만 아니라 시민사회, 정치계, 산업계 등과의 지속적인 교류 하에 연구를 추진하는 초학제적 접근방식을 유지하는 것을 중요시하고 있다.

2022년도 현재 연구소의 연구 분야를 살펴보면, 민주주의 및 지속가능성, 기술-사회적 변화의 글로벌적 함의, 초학제적 방법론·절차 및 사례, 에너지전환 및 사회변화, 환경 및 사회 변화, 과학과 사회를 위한 플랫폼을 두고 있으며, 특히 올해는 중점 주제(Schwerpunktthema)로서 정의와 지속가능성(Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit)를 설정하는 등 다학제적 연구 주제를 다루고 있으며, 특히 그 중 초학제적 연구를 지원하기 위한 방법론 자체에 대한 연구도 연구소의 연구 분야로 다뤄지고 있는 점을 주목할 필요성이 있다. 초학제적 방법론·절차·사례 연구 주제는 총 세 가지 관점을 통해 다뤄지고 있으며 각 관점별로 연구그룹이 설정되어 있다. 첫 번째 연구 그룹은 초학제적 이론, 평가 및 문화 연구 그룹(Transdisziplinäre Theorie, Evaluation und Kultur; TD-TEC)으로, 시스템의 변화과정의 관찰·평가를 위한 개념적인 이해에 관한 연구를 수행한다. 두 번째 연구 그룹은 변혁적 정책 제언 방법론(Methoden der transformativen Politikberatung)으로 에너지전환 등과 같은 특정 맥락 하에서의 변혁 과정을 실증적으로 검증하는 역할을 수행한다. 세 번째 연구 그룹은 변혁적인 공간 및 성찰방안(Transformative Räume und Denkweise; TranS-Mind)이며, 대화와 성찰을 위한 공동 창조 공간을 통해 일반 시민이나 이해관계자 그룹이 보다 적극적으로 행동할 수 있는 역량을 강화할 수 있는 포맷 등을 개발하는 역할을 한다.

#### 다. 영국 국립과학기술예술기금

(National Endowment for Science, Technology and the Arts; NESTA)

영국국립과학기술예술기금은 1998년에 설립된 과학, 기술, 예술 등 3개 분야에 해당하는 선구적인 프로젝트 및 인재육성에 대한 자금을 지원하는 공공기관에서 출발했다. 그러나, 최근 NESTA의 활동은 단순한 자금지원 및 관리의 기능에 그치지 않고 여러 가지 부문에서 역할과

28) 독일 소재 연구기관이지만 정식 약어인 IASS Potsdam은 영문 기관명인 “Institute for Advanced Sustainability Studies”에서 비롯됨.

29) <https://www.fona.de/de/massnahmen/forschungsinfrastrukturen/>

30) <https://www.fona.de/de/massnahmen/forschungsinfrastrukturen/institute-for-advanced-sustainability-studies-iass-potsdam.php>

위상이 강화되고 있다. NESTA의 최근 활동 영역은, 투자, 공공서비스랩, 정책 및 연구 등 3개 부문으로 분류되어 있는데, 투자 부문은 기술벤처 기업에의 투자, 공공서비스랩은 기후변화, 건강, 고령화 등 사회문제 대응을 위한 가장 혁신적인 해결책을 시행하는 역할을 수행하고 있다. 마지막 분야인 정책 및 연구 부문에서는 사회혁신, 혁신적 인재, 경제 불황 등의 주제를 두어 영국의 혁신성을 제고하기 위한 정책연구를 수행하고 있다. NESTA에서 발간하고 있는 워킹페이퍼, 브리핑페이퍼 등은 영국의 혁신정책 수립 과정에서 중요한 자료로서 활용되고 있는 것으로 평가된다. NESTA는 사회적 문제에 대한 해결책을 찾아가는 과정에서 다수 이해관계자들의 소통과 참여를 통해 형성되는 집단지성의 중요성을 인식하면서, 이를 지원하기 위한 도구를 연구하는 활동이 활발히 전개되었다. 2014년에는 혁신적인 아이디어를 발굴하기 위해 30개 도구<sup>31)</sup>들을 발표하였는데, 이해관계자와의 소통과 참여를 촉진하기 위한 도구들이 다수 포함되어 있다. 이 도구에 대한 개념 및 사용법을 설명하는 자료를 함께 제작하여 배포하고 있다. 그러나, 아직 이 도구들은 오프라인상의 활용에 중점을 두고 있다.

[그림 2-6] 목적별 적정 툴 매칭

The infographic 'DIY FIND YOUR TOOL' lists several tools for different goals:

- look ahead:** to understand what I need to do to bring my idea to life (INNOVATION FLOWCHART), by defining the outcomes from my work (EVIDENCE PLANNING).
- develop a clear plan:** by evaluating how I am doing and what my options are (SWOT ANALYSIS), on how to grow my idea into something bigger (BUSINESS MODEL CANVAS), for working with other groups that have the same vision as me (BUILDING PARTNERSHIPS MAP), by improving upon what I've done before (LEARNING LOOP).
- clarify my priorities:** by learning from first hand experiences (EXPERIENCE TOUR), by focusing on key critical issues (PROBLEM DEFINITION), by breaking down a complex issue (CAUSES DIAGRAM), by defining my goals and the path to reach them (THEORY OF CHANGE).
- collect input from others:** by observing and learning from everyday life (PEOPLE BUILDING), in a conversation that uncovers their perspective (INTERVIEW GUIDE), by getting to the heart of what motivates people (QUESTION LADDER), to ensure my work is relevant to the people I'm working for (STORYTOLD).

[그림 2-7] Question Ladder

The 'QUESTION LADDER' infographic explains the technique and provides a grid of question types:

**What is it & why should I do it?**

HOW TO USE IT: While making a questionnaire or before going for an interview, this worksheet can be used as a series of possible questions from which a final one can be chosen. Start by practicing approaching and exploring an issue through various directions. Once you have gained some experience with using this technique, you might find yourself automatically using it in conversations or interviews you conduct with people.

How do you know the right question to ask? Sometimes reaching the right answer means thinking more about the kind of questions you're asking. It might sound simple, but focusing on what you're asking someone is essential for reaching a deeper understanding. The **Question Ladder** is an interview technique that helps you to hone in on a certain topic by asking a series of questions about different aspects related to that topic.

This tool is a quick and easy way to start asking your questions in a few different ways, and to start combining questions in order to reach more complex answers. It provides a structured overview of what goes into a question: it shows how to combine a range of who, what, where, when, why and how questions coupled with the words like is, did, can, will, would and might. This makes it much easier to think about the best way to get to the heart of the issue at hand, and to build chains of questions that will allow you to gradually reach the heart of more complex issues.

	simple questions						complex questions
	Is	Did	Can	Will	Would	Might	
Who	Who is	Who did	Who can	Who will	Who would	Who might	
What	What is	What did	What can	What will	What would	What might	
Where	Where is	Where did	Where can	Where will	Where would	Where might	
When	When is	When did	When can	When will	When would	When might	
Why	Why is	Why did	Why can	Why will	Why would	Why might	
How	How is	How did	How can	How will	How would	How might	

출처 : NESTA (2014)

라. 일본 - 일본과학기술진흥기구 사회기술연구개발센터

(JST Research Institute of Science and Technology for Society; JST RISTEX)

일본의 문부과학성은 2011년부터 과학적인 정책 수립을 촉진하기 위해 객관적인 근거에 기반한 정책 논의 기반 조성 및 인재양성을 지원하기 위한 사업인 ‘정책을 위한 과학(政策のための科学/SciREX)’ 사업을 운영하고 있다. 이 프로그램의 주요 내용은 전략적인 정책형성프레임 워크 설계 및 추진, 연구개발 투자의 사회경제적 영향 측정 및 가시화, 과학기술이노베이션 시추진 시스템 구축, 정책형성에서의 사회와의 대화 설계 및 추진 등 크게 4가지<sup>32)</sup>로 구분할

31) NESTA. (2014). DIY Development Impact & You : Practical Tools to Trigger & Support Social Innovation. Retrieved from : <https://www.rockefellerfoundation.org/wp-content/uploads/DIY-Toolkit.pdf> (Accessed\_on : 2022-10-25/)

32) <https://www.jst.go.jp/ristex/stipolicy/program/>

수 있는데, 이 중 정책형성에서의 사회와의 대화 설계 및 추진 부분이 기술혁신정책 수립 과정에서 사회의 참여를 촉진하기 위한 체계의 설계 및 방법론 개발에 해당한다.

동 사업은 과학기술·학술정책연구소(NISTEP), 일본과학기술진흥기구 사회기술개발센터(RISTEX), 일본과학기술진흥기구 연구개발전략센터(CRDS) 등 3개 관계기관과 기반적 연구 수행·인재양성거점 역할을 수행하는 정책연구대학원대학, 도쿄대학, 히토츠바시 대학, 오사카대학 및 교토대학, 큐슈대학 등 6개 대학이 참여<sup>33)</sup>하고 있으며, 이 중 사회기술개발센터는 대응해야 하는 사회문제군을 발굴하고 각 문제에 대하여 전문가 및 이해관계자들과의 네트워크를 구성하여 조사 및 검토를 수행하는 역할을 수행한다.

최근 일본은 과학기술과 인문사회의 연계를 더욱 강조하여 **舊과학기술기본법**에 대한 개정을 진행한 바 있다. 소위 ‘과학기술·혁신기본법(2021)’ 이라고 불리는 이 법은 단순히 과학기술에서 혁신으로 범위를 넓힌 것 뿐만 아니라, 과학기술과 인문사회와의 연계를 더욱 강력히 언급하고 있다는 점에서 의의를 가진다. RISTEX는 이러한 흐름에 대응하여 ‘사회기술’을 ‘자연과학과 인문사회과학의 복수영역의 지식을 통합하여 새로운 사회 시스템을 구축해나가기 위한 기술’로 정의하고, 사회의 구체적 문제 해결 및 과학기술이 야기할 수 있는 사회적 문제(법·제도, 윤리 문제 등)에 대응할 수 있는 연구프로그램 운영을 추진하고 있다. 이에 수반하여, 연구자와 사회 각층의 이해관계자들이 협력할 수 있는 네트워크를 구축하고, ‘통합지(統合知)’라는 명칭하에 학문적인 지식과 일상생활 등 현장에서의 식견을 연구개발에 포함<sup>34)</sup>하기 위한 노력을 계속하고 있다.

#### 마. 한국 - 사회문제과학기술정책센터

최근 우리나라에서도 시스템 전환 관련 담론이 활성화되면서, ‘책임있는 연구 및 혁신(Responsible Research and Innovation; RRI) 등의 개념을 수용하는 경향이 두드러지기 시작했다.’ 이에 따라, 현안 문제 해결을 도외시했던 과거 연구개발 관행에서 벗어나 과학기술이 사회가 직면한 난제해결에 기여할 수 있는 방안을 모색하여야 한다는 인식이 부상하였다. 이에 따라, 2006년 ‘비전2030 실현을 위한 기술기반 삶의 질 종합계획’을 시작으로 국민수요와 과학기술을 연계하기 위한 노력이 경주되기 시작했으며, 2014년 ‘제1차 과학기술기반 사회문제 해결 종합계획(2014~2018)’을 효시로 사회문제 해결을 위한 연구개발 추진이 본격화되기 시작했다. 동 계획을 통해 사회문제해결형 R&D 개념을 정립한 의의는 있으나, 공급자인 중앙부처 및 연구자 주도형 기술개발에 편중된 것으로 평가<sup>35)</sup>된 바 있다. 이러한 평가를 기반으로 제2차 과학기술기반 국민생활(사회문제) 해결 종합계획은 수요자들이 보다 능동적으로 R&D에 참여할 수 있는 방향으로 설계되었다. 이를 위한 주요 추진과제로서 과학기술계와 인문사회계 전문가들이 연계할 수 있는 연구회 운영 뿐만 아니라, 현장이슈 발굴 및 해결방안의 활용도 제고를 위한 일반시민과 전문가 사이의 네트워크 구축을 제시하고 있으며, 이를 지원하기 위한 기반 중 하나로서 개방형 온라인 플랫폼을 마련하는 내용을 포함하고 있다.

33) [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/kagaku/kihon/1348022.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/kihon/1348022.htm)

34) <https://www.jst.go.jp/ristex/variety/sogochi/index.html>

35) 관계부처 합동. (2018). 제2차 과학기술 기반 국민생활(사회)문제 해결 종합계획('18~'22)(안), 국가과학기술자문회의 심의회의 안건(2018.6.29.) 의안번호 제4호.

## 제 2 절 문제해결형 데이터 정보 플랫폼 운영 현황 분석

최근 주요국을 중심으로 문제해결에 대응하기 위한 초학제 연구를 활성화하기 위한 노력을 추진 중이며, 이 과정에서 다양한 이해관계자가 참여하는 특성상 이해관계자간 정보 격차를 줄이기 위한 접근 방식이 중요하다는 인식이 확산되고 있다. 이해관계자간 정보 격차를 줄이기 위해, 다양한 정보를 수집하고 수요자가 직관적으로 정보를 파악하기 쉽도록 맵핑 등의 형태로 가공하여 제공하는 정보 플랫폼을 운영하는 방식으로 대응하는 사례가 증가하고 있다. 더 나아가 일부 초학제 연구에서는 이해관계자간 의견교류를 활성화하기 위하여 커뮤니케이션 툴(Communication Tool)을 개발하여 플랫폼 상에 적용하고 있기도 한다. 그러나, 아직 이 모든 것을 통합하여 운영하고 있는 문제해결형 플랫폼은 존재하고 있지 않기에, 동 절에서는 목적별로 분류하여 벤치마크 대상을 설정하여 분석하였다. 기후기술 정보 수집 및 시각화 부문에서는 독일의 수소 아틀라스, 영국의 에너지 혁명 통합서비스를 선정하였으며, 초학제 연구의 플랫폼 운영에 대해서는 스위스의 TD-NET, 일본의 넷셀, 우리나라의 사회문제해결 플랫폼을 선정하였다.

### 1. 독일 - 수소 아틀라스<sup>36)</sup>

독일은 2020년 국가수소전략을 수립한 이후, 각 부처별로 국가수소전략상의 목표를 달성하기 위한 이니셔티브를 발족했다. 그 중 연방교육연구부(BMBF)는 재생에너지 기반 녹색수소 생산에 초점을 둔 이니셔티브인 ‘아이디어 공모 - 수소공화국 독일(Ideenwettbewerb - Wasserstoffrepublik Deutschland)’<sup>37)</sup>를 출범하였다. 수소아틀라스 또한 수소공화국 독일 이니셔티브의 지원을 받아 동바이에른주의 레겐스부르크 공과응용대학(OTH Regensburg)에서 제작된 것으로, 독일 영토 내 지역마다의 수소 수요, 비용, 수소 생산에 의한 CO<sub>2</sub> 배출삭감 잠재량 등을 추정할 수 있도록 관련 정보의 지역 단위로 맵핑하는 작업을 수행하였다. 이 결과 지역마다의 수소 이용 현황, 지역 단위의 진척 수준 파악이 가능하며, 결과적으로는 민간 기업들이 잠재적인 사업 가능성을 가늠할 수 있는 판단 근거로 활용가능하다는 이점이 있다. 수소 아틀라스 상에는 인벤토리가 포함되어 있는데 이는 2012년 이래로 계속 유지되었던 독일의 P2X 시스템 인벤토리에 기반한 것이다. 지역단위로 녹색수소 생산, H<sub>2</sub> 소비, CO<sub>2</sub>배출원의 양·용량을 표시한 것으로, 사용자가 아틀라스 상에서 선택한 지역 소재 PtX·H<sub>2</sub>소비, CO<sub>2</sub>배출원 구축 현황(기획, 운영 단계 등 포함) 및 전망에 관한 평가 내용을 포함<sup>38)</sup>하고 있다.

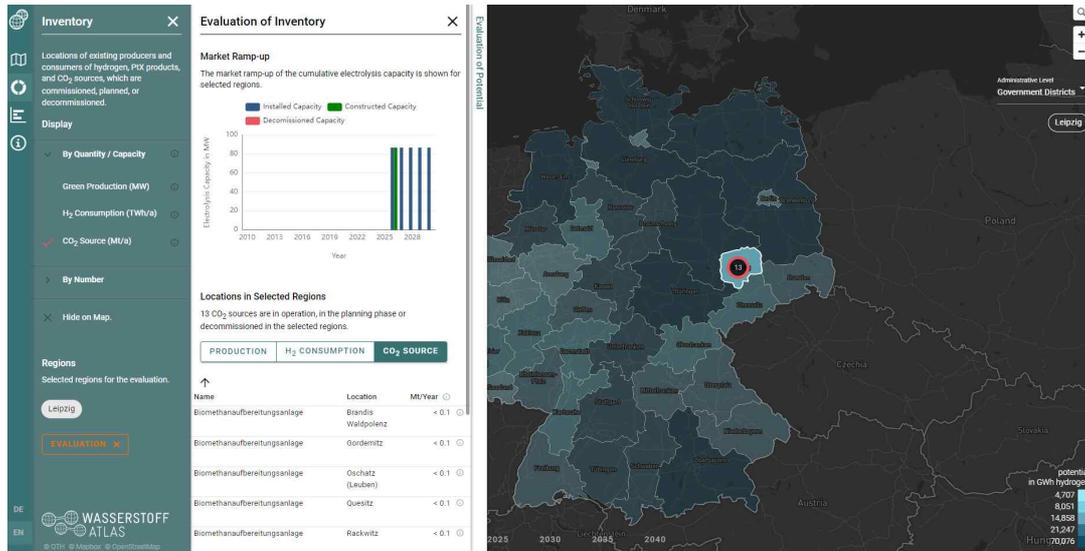
독일 정부에서는 본 수소아틀라스가 각 지역의 실질적인 수소 생산량과 전력 수요를 가시화하고 있어 관계자들의 관심을 유도하고 수소 사업의 잠재성을 개발해 나감으로서 수소사업을 구체적으로 추진해나갈 수 있는 발판이 될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

36) 이하 내용은 <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2022/07/180722-Wasserstoffatlas.html> 내용을 토대로 작성

37) <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/10/20221004-bmbf-und-bmwk-starten-gemeinsamen-foerderauf-ruf-zu-gruenem-wasserstoff-und-gruener-chemie.html>

38) <https://wasserstoffatlas.de/>

[그림 2-8] 독일 수소아틀라스 상의 P2X 인벤토리



출처 : Wasserstoff Atlas

## 2. 영국 - 에너지 혁명 통합 서비스(Energy Revolution Intergration Service(ERIS))

캐터펄트(Catapult) 프로그램은 현 영국연구혁신기구(UK Research and Innovation; UKRI)의 전신인 구 영국혁신청(Innovate UK)에서부터 시작된 프로그램으로, 다양한 분야의 학·연 전문가들 커뮤니티와 장비가 갖춰진 공간을 활용하여 혁신 제품·서비스 관련 사업 성장에서 직면하는 문제해결을 지원하는 역할을 수행하는 비영리적 기술혁신센터를 설립하여 운영하는 프로그램<sup>39)</sup>이다. 이 캐터펄트 프로그램은 디지털, 위성적용, 세포 및 유전자 치료, 정밀의료, 해상 재생에너지, 미래 도시, 에너지 시스템, 교통 시스템 등 11개 연구테마를 대상으로 센터를 지정하고 있는데, ‘에너지혁명통합서비스(ERIS)’는 캐터펄트 프로그램 중 에너지 시스템 캐터펄트 활동의 일환으로 추진<sup>40)</sup>되고 있다. 에너지 시스템 캐터펄트는 실용적인 모델, 도구 및 리빙랩 등의 제공이 정부, 산업계 및 공동체가 탄소중립에 대응할 수 있는 핵심요소로 보고, 이와 관련된 여러 가지 수단들을 제공<sup>41)</sup>하고 있다. 이 중 데이터 부문에서는 데이터 플랫폼과 함께 리빙랩 실험 데이터, 소비자-차량 및 에너지 통합 실험데이터, 지역 에너지 자산 현황 데이터, 영국 전력 및 가스 소비 데이터 등의 데이터를 제공하고 있다.

39) Innovate UK. (2016). How Catapults can help your business innovate. Retrieved from : <https://han.g/psBBn> (Accessed on : 2022-10-11).

40) 이 서비스는 산업전략도전기금(Industrial Strategy Challenge Fund; ISCF)의 청정성장(Clean Growth) 분야의 세부 과제인 ‘에너지혁명으로부터의 번영(Prospering from Energy Revolution)’의 지원을 함께 받고 있음.

41) <https://usmart.io/org/esc>

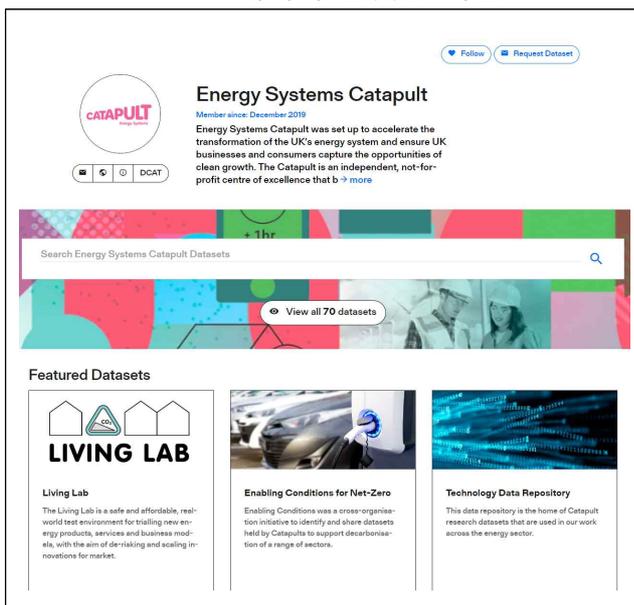
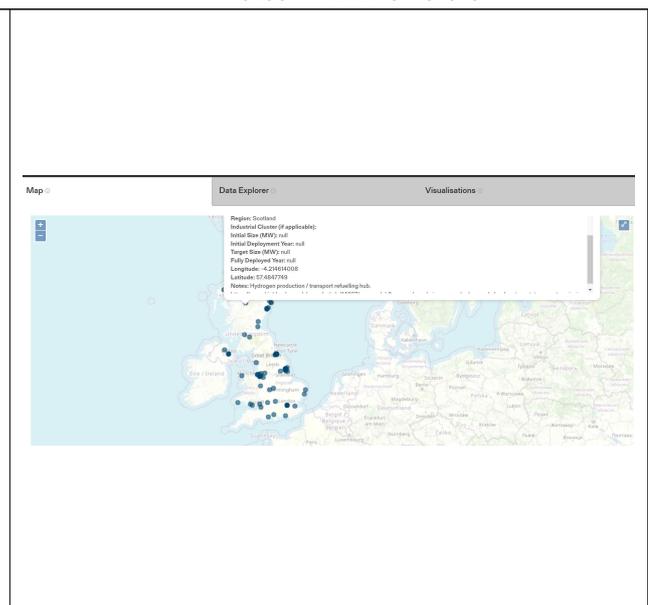
&lt;표 2-2&gt; 에너지시스템 캐터펄트에서 제공하는 주요 수단

구분	주요내용
에너지 런치패드 (lauchpad)	- 중소기업 및 스타트업들의 성장을 위한 비즈니스 모델 상담, 수요자 분석, 시스템 모델링 등 지원 - 맞춤형 지원, 자금 지원 정보, 글로벌 인사이트, 투자 기회 등에 대한 정보 제공
리빙랩	- 실제 환경에서의 제품 및 서비스 적용 성과 평가, 소비자 피드백 등을 지원
데이터	- 광범위한 혁신 프로젝트로 창출된 데이터셋에 기반한 인사이트 및 증거를 제공
소비자 패널	- 제품 및 서비스 개발 차원의 리스크 저감, 시장 지향성 강화 등을 지원하기 위해 에너지정책, 시스템 엔지니어링, 비즈니스 모델 혁신 등 전체 에너지시스템에 걸친 전분야의 수천명의 전문가로 구성된 소비자 패널을 운영
국가 넷제로 툴킷 (toolkit)	- 넷제로 혁신을 위한 국가 기반의 독립적, 시스템 모델, 도구, 실험실, 가이드라인, 사례분석 및 데이터 제공
지역 기반 넷제로 툴킷(toolkit)	- 넷제로 혁신을 위한 지역 기반의 독립적, 시스템 모델, 도구, 실험실, 가이드라인, 사례분석 및 데이터 제공

출처 : Energy System Catapult 홈페이지

데이터 플랫폼에는 총 74개의 공개 데이터셋을 제공하고 있으며, 일부 자료를 제외하면 대부분 에너지 시스템 캐터펄트를 통해 생성·수집된 자료들이다. 뉴캐슬, 맨체스터 등 소재 100여개 가구들로 구성된 리빙랩과 관련하여 수집된 가스 보일러 사용 관련 자료, 기상상태 등의 자료와, 미래 수소 생산이 가능한 지역 등에 관한 정보와 함께, 에너지 요금 디자인 툴, 인프라 비용 계산을 위한 입력 데이터 등을 제공하고 있다.

[그림 2-9] 에너지시스템 캐터펄트의 데이터 플랫폼 화면

[그림 2-10] Technology Data Repository 중 미래수소 생산지 데이터<sup>42)</sup>

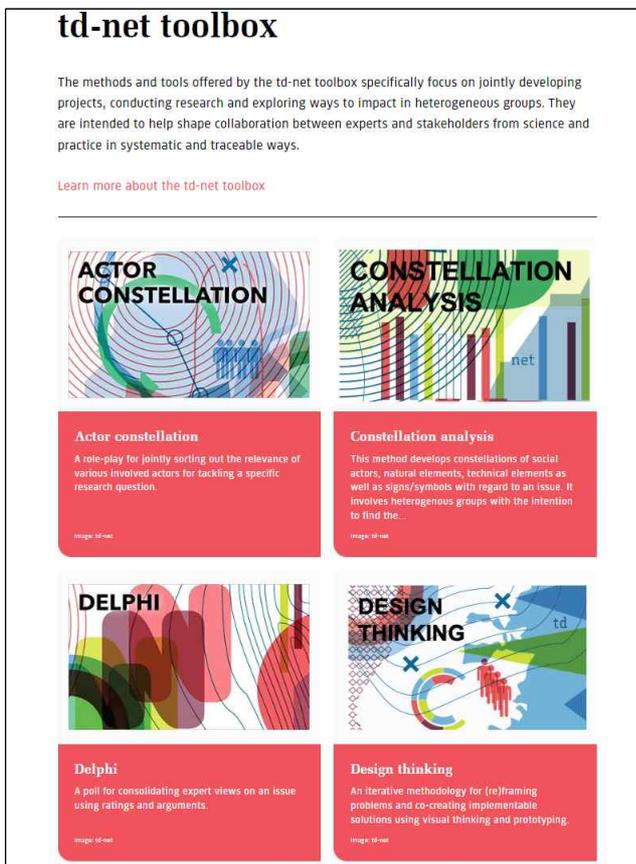
출처 : Energy System Catapult 홈페이지

42) <https://usmart.io/org/esc/discovery/discovery-view-detail/2b29ee19-5f0a-487c-b351-38fb593bd03f>

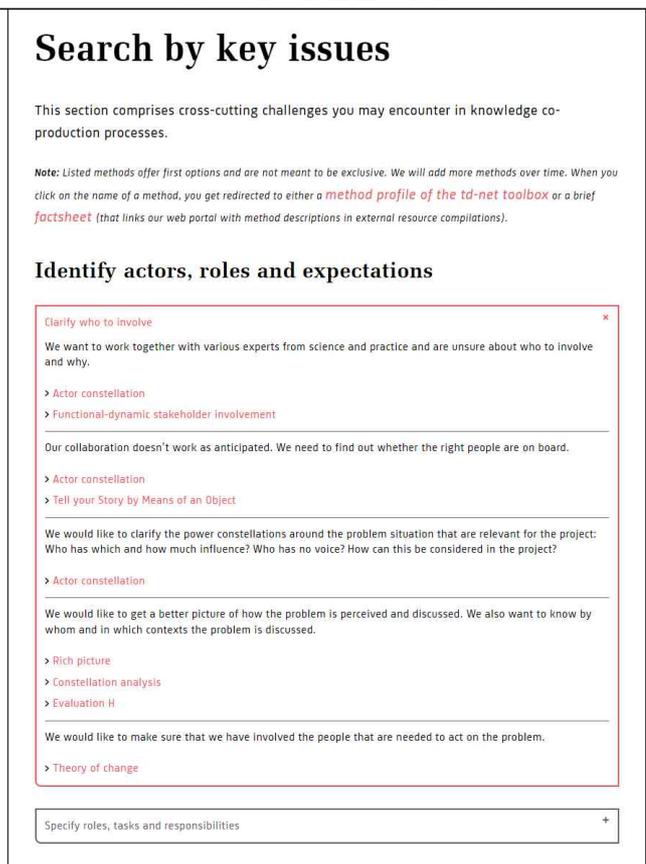
### 3. 스위스 - TD-NET

2019년부터 2021년까지는 과학기술 분야 커뮤니티와의 협력 하에 td-net에서 개발한 방법론들이 수록된 도구상자(td-net toolbox)를 온라인 공개하였다. 동 도구상자에는 행위자 구성(Actor Constellation), 총괄적 분석(Constellation Anaysis), 델파이, 디자인 씽킹, 해방적 경계 비판, 기능적-동적 이해관계자 참여, 기브 앤 테이크 매트릭스, 가장 중요한 변화(Most Significant Change), 다수 이해관계자 토론 그룹, 노마드 컨셉 등 20개의 방법론 및 도구들이 기재되어 있으며, 각기 개념 및 정의, 활용사유, 적절한 활용 시점, 운용법, 창출될 수 있는 성과, 참여자 범위 및 참여자의 역할, 사전준비사항 등에 대한 개요를 제공하고 있다. 또한 수요자들이 지식 공동생성 과정에서 발생할 수 있는 핵심 이슈 및 진행단계별로 필요한 사항들과 그에 활용될 수 있는 적절한 도구 및 방법론을 매칭하여 보여주는 별도의 메뉴를 구성하고 있으며, 링크로 각 도구 및 방법론의 구체적인 사용방안을 설명하는 내용을 연결하여 사용자의 편의를 제고하고 있다.

[그림 2-11] Toolbox 상의 방법론



[그림 2-12] 프로젝트 기획 단계별 점검사항 및 적정 방법론 매칭 예시

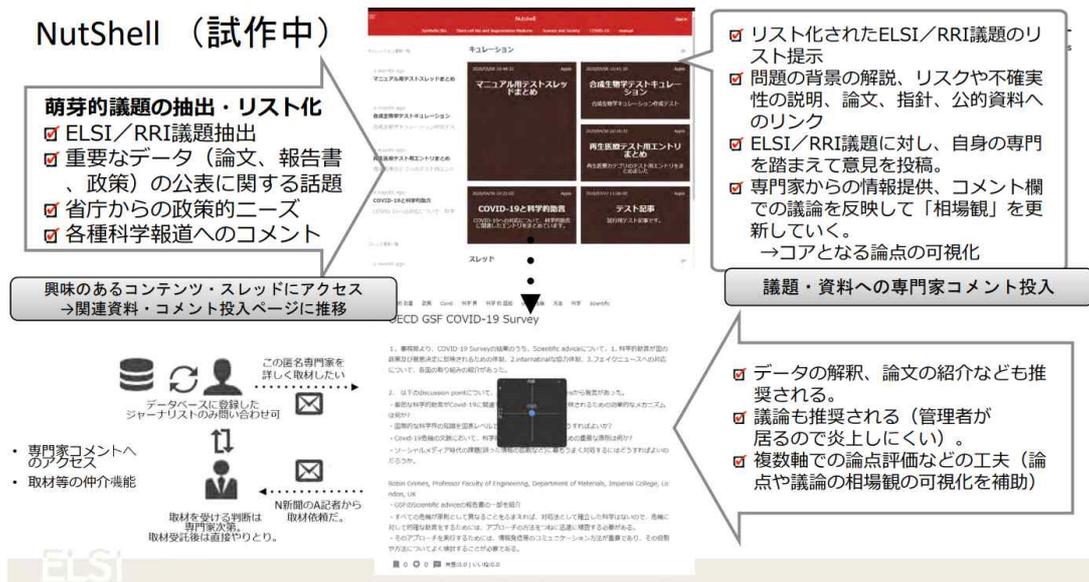


출처 : TD-net

4. 일본 - 넛셸(Nutshell)

아직까지 RISTEX 차원에서는 초학제적 연구를 수행하기 위한 별도의 플랫폼을 운영하고 있는 것은 않은 상태이다. 그러나, RISTEX에서 지원하는 개별 프로젝트 단위에서는 온라인 플랫폼 운영사례가 존재한다. 예컨대, 맹아적 과학기술의 사회로의 도입 과정에서 빚어질 수 있는 여러 가지 경제사회적 문제점에 대한 사전 검토 작업을 수행하는 과정에서 다양한 분야의 전문가들과 일반시민들이 공동으로 참여하여 논의를 진행하는 초학제적 접근을 취하는 경우가 많으며, 이 과정에서 논의를 원활하게 진행하기 위한 온라인 플랫폼을 운영하는 사례가 존재한다. RISTEX의 지원을 받는 오사카 대학의 사회기술공창연구센터(大阪大学 社会技術共創研究センター)에서는 맹아적 기술분야의 도입 과정에서 나타날 수 있는 문제를 사전에 발굴하기 위해 초학제적 접근을 시도하고 있으며, 보다 활발한 전문가와 일반시민 등 이해관계자간 의견 교환을 위해 온라인 커뮤니케이션 플랫폼인 넛셸(Nutshell)을 구축하고 있다. 넛셸은 맹아적 과제를 추출하여 리스트화하고, 문제 배경·리스크·불확실성의 해설, 관련 뉴스 제공, 연관 논문과 공적 자료로의 연결(링크 등)을 사용자들에게 제공하는 기능을 하고 있다. 이는 참여자의 논의를 지원하기 위한 장치로, SNS의 타래(Thread) 형식을 차용하여 참여자들이 흥미있는 콘텐츠의 타래에 접속하여 관련자료 및 의견을 입력할 수 있는 기능도 포함하고 있다.

[그림 2-13] 넛셸 주요 기능 구성



출처 : 標葉隆馬 (2020)43

5. 한국 - 사회문제해결플랫폼

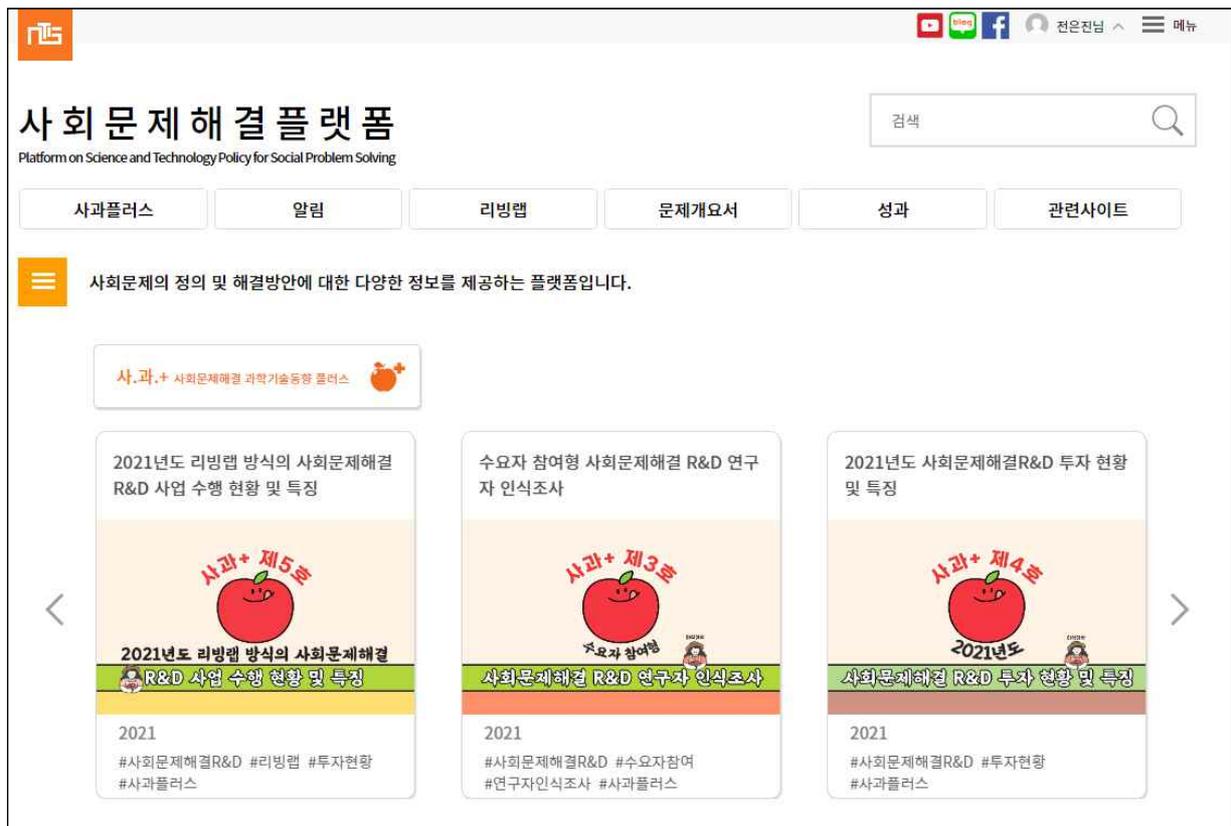
현재 우리나라 정부는 제2차 과학기술 기반 국민생활(사회문제) 해결 종합계획(2018~2022)에 근거하여, 문제발굴, 네트워크 강화, 해법 모색을 지원하고 문제해결과정에 필요한 정보를 체계

43) 標葉隆馬. (2020), 萌芽的科学技术を巡るELSI/RRI議題の洞察 -先端生命科学の事例から(발표자료), 大阪大学.

적으로 축적하여 제시할 수 있는 온라인 플랫폼(사회문제해결 플랫폼(Platform on Science and Technology Policy for Social Problem Solving)을 운영<sup>44)</sup>하고 있다. 동 플랫폼은 국가과학기술정보서비스(National Science & Technology Information Service; NTIS)의 내부 플랫폼으로서 운영되고 있으며, 주요 기능으로서는 사과플러스, 알림, 리빙랩, 문제개요서, 성과를 두고 있다. 사과 플러스는 사회문제해결 R&D 투자 현황 및 특징, 연구자 인식조사 등 사회문제해결 관련 과학기술 동향을 제공하며, 알림 항목은 41대 사회문제영역별 행사, 보고서, 정책 및 학습 등에 관한 정보를 게시하는 기능을 한다. 리빙랩은 국내외 및 지역의 리빙랩 사례와 정부 R&D 현황을, 문제개요서는 41대 사회문제영역별 정의, 현황, 원인, 국내외 대응 등의 개요서를 제공한다. 성과 항목은 사회문제해결 주요 R&D 성과 정보를 공유하는 기능을 가지고 있다.

제2차 과학기술 기반 국민생활(사회문제) 해결 종합계획 상에서는 참여·소통 강화 및 문제해결역량 축적을 위한 온라인 허브의 주요 기능으로서 문제발굴, 네트워크 강화, 해법 모색, 정보제공 등을 제시하고 있으나, 상술한 바와 같이 사회문제해결 플랫폼의 주요 기능은 정보 공유 및 제공에 역점을 두고 있다. 문제발굴, 네트워크 강화, 해법 모색 등의 기능은 SNS 연계 온라인 포럼 및 소셜 테크페어 개최 등 다른 형태<sup>45)</sup>로 이루어지고 있는 것으로 추정된다.

[그림 2-14] 사회문제해결플랫폼 구성화면



출처 : 국가과학기술정보서비스-사회문제해결플랫폼

44) <https://www.ntis.go.kr/scisoplatform/main.do>

45) 이희권 외(2021), 범부처 사회문제해결 기반 구축, 한국과학기술기획평가원.

### 제 3 절 융·복합 기후기술 정보플랫폼 구축 방향에 대한 시사점

최근 주요국의 연구개발 동향을 살펴보면, 과거 NBIC 등 기술간 융·복합에 초점을 둔 연구개발에 치중하는 움직임에서 벗어나, 기후위기 등 사회적 난제 해결을 위해 임무를 설정하고, 다양한 분야와 이해관계자의 참여 하에 다방면의 학문적 식견과 및 현장의 노하우를 종합적으로 통합하여 연구개발을 진행하는 경향이 주류로 등장하고 있는 점을 알 수 있다. 특히, 독일, 영국 등 주요국의 R&D 동향을 살펴보면, 연구개발 프로그램 운영과정에서 사회와의 창구 역할을 수행하면서 경제사회적 변화에 대한 움직임을 연구개발 과정에 반영하고, 반대로 연구개발의 성과를 사회에 착근시키기 위한 소통을 전담하는 프로젝트를 별도로 편성하여 운영하고 있다. 이 과정에서 이해관계자간 지식격차 등을 완화하기 위한 문제가 관건이 되는 점을 인식하여, 이를 보완하기 위한 도구(Tool) 자체를 개발하려고 하는 노력도 함께 경주되고 있는 점을 주목할 필요성이 있다. 일각에서는 임무의 설계 및 실시 과정에서 과학적 전문성에 기반한 분석 및 데이터, 정보, 도구가 뒷받침될 필요성이 있음을 역설하면서 공적연구기관이 장기적 데이터 및 정보 축적에 핵심적인 역할을 수행하여야 함을 지적하는 경우<sup>46)</sup>도 있다.

이러한 움직임은 세 가지 흐름으로 요약할 수 있다. 첫 번째, 이해관계자간 원활한 대화를 지원할 수 있는 커뮤니케이션 툴 자체를 개발하는 움직임이다. 임무의 설정과 해결방안을 도출하는 프로세스를 정립하고 진행과정에서 발생할 수 있는 이슈를 사전에 점검하여 이에 적합한 툴을 추천하는 등 초학제간 연구 진행을 위한 방법론을 구축하고 있다. 두 번째는, 이해관계자간 지식 격차를 완화하기 위한 데이터 제공을 강화하고 있다는 점이다. 아직은 관련된 정보를 인벤토리 형식으로 저장하는 수준으로 진행되고 있으나, 독일, 영국 등의 사례에서 알 수 있듯이 일부 정보는 맵핑 작업을 통해 가시화함으로써 이해관계자의 현황파악을 돕는 형태의 작업도 병행하고 있다. 이는 기술개발의 적용 등에 대한 정보를 가시화함으로써 R&D 연구자와 산업계 관계자들이 연구개발 수요 및 사업 기회를 파악하기 용이하도록 지원하는 역할도 하고 있다. 세 번째는, 이해관계자간 대화 과정에서 보다 활발한 논의 진행을 위해 온라인 플랫폼을 활용하는 사례가 늘어나고 있다는 점이다. 정보를 제공하는 기능을 겸하는 플랫폼에 함께 탑재되는 경우가 많으며, 단순한 수요조사 등 형태의 의견수렴이 아니라, SNS의 시스템을 차용하여 상호 의견교환을 가능케하도록 지원하고 있다.

우리나라에서도 사회문제해결플랫폼을 통해 여러 가지 정보를 제공하고 있으나, 대부분 문제개요서, R&D 우수성과 소개 등 사회문제해결형 R&D의 시행을 정책적으로 지원하는 정보들로 구성되어 있다. 사회문제해결형 R&D의 광범위한 범위에 비해 사회문제해결플랫폼을 구성하는 사회혁신정책센터에 투입되는 자원이 한정되어 있어 이에 의한 제약이 있었기 때문인 것으로 사료된다. 개별 분야별로 분할하여 보다 세부적인 문제에 밀착하는 플랫폼을 구성할 필요가 있으며, 정보제공 기능을 넘어 이해관계자의 이슈에 대한 이해도 제고 및 상호 논의를 지원할 수 있는 기능을 포괄할 필요성이 있다.

46) 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター. (2022). 戦略プロポーザル: ミッション志向型科学技術イノベーション政策と研究開発ファンディングの推進, 提言・提案 CRDS-FY2022-SP-01.

### 제 3 장 에너지 관련 주요 이슈 및 기술패키지

문제해결형 R&D를 추진하는 과정에서 가장 먼저 추진해야 하는 사항은 해결해야 하는 이슈를 특정하는 것이다. 이슈를 정의하고 세부적으로 분석하여 해결책을 모색하는 과정에서 R&D 추진 방향이 구체화되기 때문이다. 최근 임무지향적 혁신정책의 확산과 함께 여러 분야에서 문제를 정의하고 이에 기반하여 해결책을 모색하는 동향이 강화되고 있다. 기후변화 대응 분야에서도 동일한 시도가 진행된 바 있다. 신현우(2020)에서는 텍스트마이닝 기법으로 해외 언론 및 보고서를 분석하는 형태로 기후변화 대응 분야에 관한 주요 이슈(W-E-F)를 도출하였으며, 임무지향형 기술트리 방법론을 개발하여 도출된 이슈에 대응하여 그 해결방안을 연계하는 방식으로 체계화시키고 개별 기술트리가 연계되는 영역을 발굴하는 연역적 방식으로 융·복합 기술을 발굴하였다. 특히, 단일 기술 단위로 세분화되는 기술트리의 단점을 보완하기 위하여, 국내외 논문·특허 정보를 활용한 LDA 분석을 통해 융·복합 기술영역을 도출하는 귀납적 접근방식을 병행한 점이 특색이다. 그 뒤를 이은 후속연구에서는 상기 방법론을 토대로 도출된 융·복합 기술 모델 및 세부기술 별 인벤토리 정보를 시범적으로 구축하고 이를 플랫폼으로 제공하기 위한 단계로서 정보화계획(ISP) 수립이 추진되었다. 도출된 주요 기술 모델은 에너지(Energy)-식량(Food) 연계 분야이자, 산업/비산업 부문을 포괄하는 수소 분야 융·복합 기술 모델인 바이오매스를 활용한 수소 생산에 초점을 두었다. 타겟 시장에 따라 선진국형/개도국형 등 2개 세부 기술모델로 구분하여 해당 기술 모델을 구성하는 요소기술 인벤토리를 구축하였다.

[그림 3-1] WEF 관련 융·복합 기후기술 모델: 바이오매스를 활용한 수소생산



출처 : 신현우 (2021)

상기 연구에서는 거시적인 관점에서 3대 이슈(청정에너지 부족, 식량부족, 수자원 불균형)별 기술트리를 연계하여 2개 이상의 주요 이슈에 대응할 수 있는 융·복합 기술 모델을 도출하고자 하였다면, 본 연구에서는 미시적인 관점에서 접근하여 하나의 기술트리 내에서 주요 세부 이슈를 특정하고, 이에 대응할 수 있는 융·복합 기술 모델을 발굴하고자 시도하였다. 본 장에서는 에너지 분야의 주요 이슈인 청정에너지 부족에 초점을 맞춰, 기술트리, 이슈 분석 등의 정보에 기반하여 신재생에너지 분야의 주요 이슈를 발굴하고 이를 해결할 수 있는 기술모델 및 세부기술 인벤토리 구축을 시도하였다.

## 제 1 절 기후문제 해결을 위한 신재생에너지 분야의 주요 이슈

최근 점점 더 악화되고 있는 전 지구적 기후변화 문제들로 인하여 인류의 생존이 위협받고 있으며, 모든 국가의 안보를 저해하는 경제적·환경적·사회적 주요 이슈로 대두되고 있다. 이와 같은 기후위기에 따른 경제적·환경적·사회적 문제는 더욱 복잡하고 다양한 양상으로 나타나고 있으며, 특히 이례적인 극한 기상 현상에 따른 물 수요-공급 간 불균형 문제, 청정에너지 및 식량 부족 등이 우선적으로 해결해야 할 주요 현안으로 파악되었다.<sup>47)</sup> 본 연구에서는 상기의 주요 현안들 중, 지구평균 기온 상승을 산업화 이전 대비 1.5℃ 이내로 억제하고 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위하여 에너지 분야의 주요 이슈들을 우선적으로 분석하였다.

국가와 사회를 지탱하고 유지하기 위해서는 다양한 에너지 자원의 확보가 필요하고 확보된 에너지원들은 각 국가의 산업분야에 따라 다양한 형태로 활용되어왔다. 에너지원이란 에너지로 활용 가능한 자원 또는 에너지가 생기는 근원을 의미하며, 화석연료, 원자력, 신재생에너지 등을 말한다. 일반적으로 국가의 에너지원이 다양하다는 것은 특정 에너지원에 의한 취약성을 분산시켜 에너지 안보 안정성을 향상시킬 수 있다는 것을 의미하였다. 에너지 안보는 자원 보유 및 접근성, 환경성, 경제성 등에 의한 안정적인 에너지 수급 수준으로 설명될 수 있다. 그러나 신기후체제 하 미래 지속가능한 에너지안보 측면에서는 상기에 언급된 다양한 에너지원 확보 중에서도 탄소중립을 위한 신재생에너지 중심의 에너지 접근성이 더욱 강조된다.

따라서, 신재생에너지 기반의 에너지 전환을 효과적으로 구현하기 위하여 에너지 산업과 연계된 주요 이슈들을 심층 분석하는 것이 필요하다. 현재 신재생에너지 기반의 에너지 산업이 내재하고 있는 주요 이슈들에는 에너지 안보 및 경제적 타당성 이외에도 기술적 한계, 환경적 타당성 및 사회적 수용성 등이 포함된다. 이와 같은 주요 이슈들을 분류하여 정리해보면, 1. 에너지 믹스와 전환손실, 2. 신재생에너지 간헐성, 3. 전력 수요-공급간 불일치, 4. 전력계통 한계 및 출력제한, 5. 주민 수용성, 6. 에너지 저장장치의 한계 및 안전성, 7. 경제적 타당성 등의 7가지 주요 이슈로 요약될 수 있다.

### 1. 에너지믹스와 전환 손실

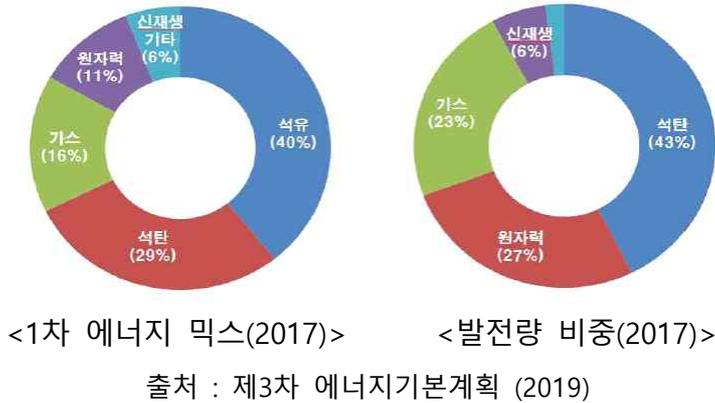
다양한 에너지원으로 구성되는 에너지믹스는 각 시대의 산업 발전에 따라 지속적으로 변화해왔는데, 18세기 산업혁명 이후 최근까지 사회를 이끈 산업들은 정도의 차이는 있지만 대부분 탄소기반의 에너지를 바탕으로 발전하였다. 그러나 탄소기반의 화석연료는 다량의 이산화탄소를 방출함으로써 지구온난화를 심화시키고 전 세계적으로 심각한 기후변화를 초래하였다. 따라서 2050년 탄소중립을 목표로 하고 있는 신기후체제 하 탈탄소 사회에서는 탄소중립과 기후변화 대응을 위하여 화석연료의 소비량을 최대한 줄이고 신재생에너지를 증가시키는 형태의 에너지전환이 요구되고 있다. 즉, 2050 탄소중립 목표를 달성하기 위해서 신재생에너지 위주의 에너지 정책이 강력하게 추진되어야 하므로, 에너지를 생산·소비하는 산업구조와 이에 따른 국가 에너지원 구성이 획기적으로 변화되어야 한다. 제3차 에너지기본계획(2019)<sup>48)</sup>에 따르면,

47) 녹색기술센터, 문제해결을 위한 융·복합 녹색기후기술 도출 및 적용을 위한 전략연구, 2020

48) 산업통상자원부, 제3차 에너지기본계획, 2019

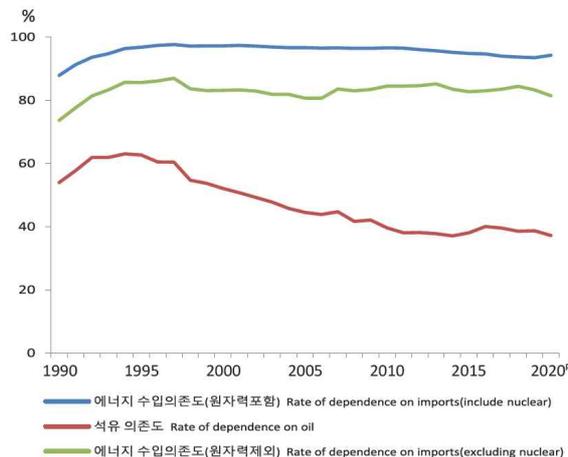
2017년 기준 국내 1차 에너지믹스는 석유 40%, 석탄 29%, 가스 16%, 원자력 11%, 신재생에너지 및 기타 6%로 구성되어있다. 국내 전력생산에 사용되는 발전원의 비중은 석탄 43%, 원자력 27%, 가스 23%, 신재생에너지 6%이었다.

[그림 3-2] 국내 1차 에너지 및 발전원 믹스



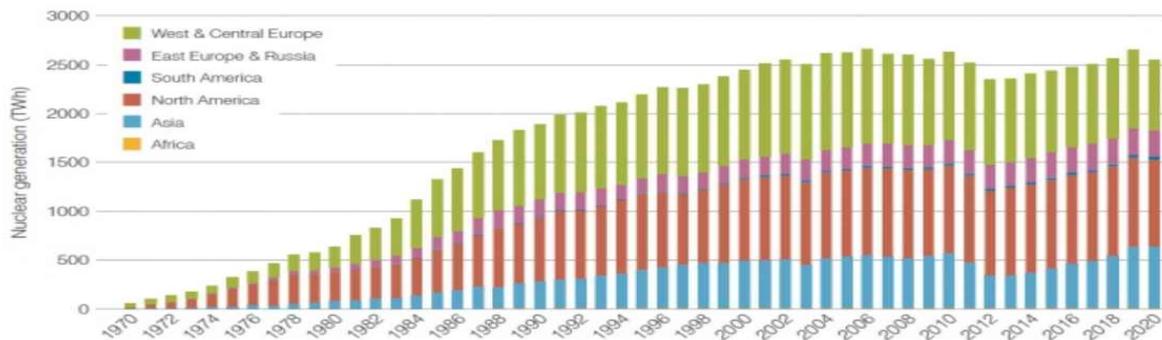
다양한 에너지원의 활용은 인간의 생활을 풍요롭게 하는데 도움을 주지만, 세계 자원 매장량의 한계와 국가 간 매장량의 차이로 인하여 자원이 부족한 많은 국가들은 수입에 의존할 수밖에 없다. 석탄을 제외하고 1차 에너지의 92.8%(2020년 기준)를 수입하고 있는 우리나라의 경우, 사용되고 있는 각 에너지원의 세계 시장과 주요국들의 정책변화에 따라서 수급 및 교역의 변화가 크기 때문에 에너지 안보 측면의 취약성이 상시 내재하고 있다. 특히, 에너지 수입액의 약 절반 이상을 차지하는 유가는 지정학적 불안요인 등에 따른 수급여건과 풍부한 유동성과 투기 요인에 민감한 영향을 받는다. 최근 들어서 우리나라의 해외 석유 의존도가 상대적으로 감소하고 있으나 중국 등 신흥경제권의 수요가 지속적으로 증가할 것으로 예상됨에 따라 향후 안정적인 에너지 확보에 많은 어려움이 예상된다.

[그림 3-3] 1990~2020년 우리나라의 에너지 수입 의존도 및 석유 의존도



국가별로 차이는 있으나 에너지믹스 중 큰 비중을 차지하고 있는 원자력발전은 미세먼지와 온실가스 배출과 무관한 청정화력 발전이며, 에너지 자원인 우라늄이 세계 전역에 비교적 고르게 매장되어있어서 화석연료에 비해 상대적으로 가격과 공급이 안정적이라는 장점을 가지고 있다. 그러나 2011년 일본 동북부 대지진 이후, 원전의 안전성 문제가 제기되면서 세계 원전 시장이 조정되는 현상을 나타내었으며 그 이후 약 7년간은 연속적으로 증가하는 추세를 나타내었다. 2021 세계 원자력 성과보고서<sup>50)</sup>에 따르면 2020년 원자력 발전설비 용량은 2019년의 약 400GW 보다 소폭 감소한 392GW를 나타내었고 운영 중인 전 세계 상업용 원자로는 총 441기로, 전 세계 발전량의 약 10%에 해당되는 전력을 생산하였다.

[그림 3-4] 2020년 말 기준 전 세계 원자력 발전량



출처 : PRIS, IAEA (2021)

우리나라 에너지믹스에서 많은 부분을 차지하고 있는 원자력 발전은 앞서 언급된 내용과 같이, 온실가스를 거의 배출하지 않는 청정에너지원으로서 안정적인 기저발전이 가능하고 kW당 발전단가가 상대적으로 적으며 발전소 부지면적 대비 효율이 우수하다. 그러나 핵폐기물 및 폐로 처리를 위한 안전비용의 상승과 방사능 위험성 인식에 대한 부정적 영향이 공존하여 향후 각 국가의 2050 탄소중립 목표 이행을 위한 에너지 믹스 시나리오에서 차지하는 원자력 발전 비중은 국가별 에너지 정책에 따라 큰 차이를 보일 것으로 전망된다.

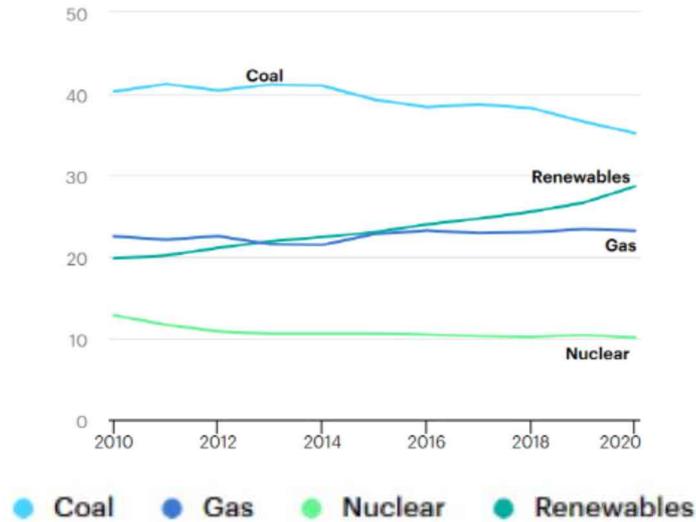
2020년 IEA의 ‘세계 에너지 리뷰’의 2020년 이산화탄소 배출보고서<sup>51)</sup>에 따르면 전 세계 재생에너지 발전 비중이 29%로 높아지고 석탄발전 비중이 약 35%로 하락하면서, 전력 부문의 탄소배출량이 전년 대비 약 4.5억만톤 감소하였다. 세계 주요국가에서는 기후변화대응을 위한 온실가스 감축과 지속가능한 에너지 공급을 위하여 신재생에너지를 중심으로 한 에너지 전환 정책을 전력, 난방, 운송 분야에서 확대 추진되고 있다. 다양한 에너지의 확보는 국가 에너지 안보 측면에서 볼 때 중요성을 가졌으나 최근에는 이와 함께 온실가스 감축을 위하여 적절하게 구성된 에너지믹스가 더욱 중요해졌다. 즉, 탄소중립을 위한 실효적인 에너지 전환을 위해서는 에너지믹스 중 신재생에너지원 확대, 에너지효율 향상 및 에너지 소비 감소 등과 같은 핵심 요소들을 강화하는 것이 요구되고 있다. 따라서 신재생에너지 중심의 에너지믹스를 구성하면서 산업 특성과 에너지밸런스를 적절히 맞추어나가는 것이 필요하다.

49) 에너지경제연구원, 에너지 통계월보 Vol. 37-10, 2021

50) World Nuclear Association and IAEA Power Reactor Information Service, World Nuclear Performance Report 2021, 2021

51) IEA, Global Energy Review: CO<sub>2</sub> Emission in 2020, 2021

[그림 3-5] 2010~2020년 전 세계 석탄, 재생에너지, 가스 및 원자력 발전 비중(%) 변화 추이



출처 : IEA (2020)

다양한 에너지원으로 구성되는 에너지 믹스의 주요 이슈는 다른 형태의 에너지로 전환하는 과정에서 발생하는 에너지 손실이다.<sup>52)</sup> 즉, 전력 수요가 급증함에 따라 다양한 에너지원을 전기화하는 과정이 필요한데, 국내 전환손실의 약 95%가 1차 에너지를 전기화하는 과정에서 발생한다. 국내 1차 에너지 공급량 중 약 75%만이 최종 에너지로 소비되고 나머지 약 25%는 손실된다.<sup>53)</sup> 현재 우리나라의 주력산업이 전력 기반의 에너지 다소비 산업으로 구성되어있어서, 향후 에너지 변환 손실량이 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 따라서 에너지 활용 분석을 통하여 전력-열-수송 등을 통합하는 형태의 융·복합 공급시스템을 채택하거나 송배전 손실을 줄이기 위한 분산형 발전시스템 등을 확대하는 것이 필요하다. 동시에 미활용 되고 있는 폐열 등의 열에너지를 적극적으로 활용하거나 에너지 이용 효율을 향상시킴으로써 전환손실을 최소화하는 것이 요구된다.

[그림 3-6] 국내 에너지 밸런스 현황



출처 : 통계청 (2012)

52) 에너지경제연구원, 자주 찾는 에너지 통계, 2021

53) 현대경제연구원, 에너지 수급 불균형 해소를 위한 생산 효율성 제고 방안, Weekly Economic Review, 2015

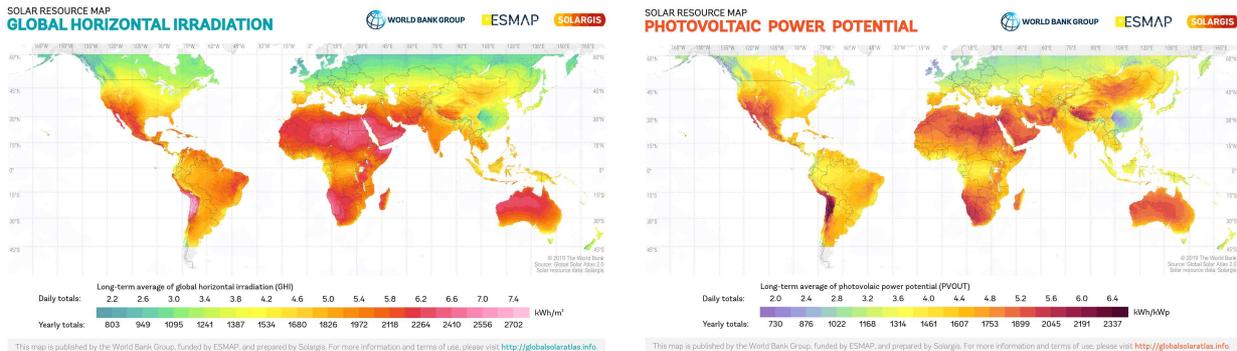
## 2. 신재생에너지 간헐성

신재생에너지란 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지를 일컫는다(신재생에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법 제2조). 신재생에너지 발전 비용 감소와 재생에너지 친화적인 정책들이 전세계적으로 주류를 이루게 되면서 신재생에너지 설치 용량이 꾸준한 증가세를 보이고 있다. 우리나라도 ‘34년까지 최종 에너지 중 신재생에너지의 비중을 13.7%, 전체 발전량 중 신재생에너지 비중을 25.8%로 향상시키는 목표를 설정하였고(제5차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본 계획), ’34년 신재생에너지 전체의 91%를 태양광(45.6GW)과 풍력(24.9GW)로 구성할 계획이다(제9차전력수급기본계획). 태양광과 풍력 에너지는 전력 생산 시 온실가스를 배출하지 않아 깨끗할 뿐 아니라 무한히 이용할 수 있는 최대의 장점을 가지고 있다. 그러나 이들 에너지는 지역에 따라, 시간에 따라 전력생산량이 불균질한 약점을 가지고 있다.

### 가. 태양광 간헐성

태양광 발전 잠재량은 태양광의 강도가 센 적도 지역이 가장 높다. [그림 3-7]에서와 같이 적도 지역에 위치한 아프리카, 인도, 중동, 중앙 및 남아메리카 등의 지역에서 수평 일사량이 많아 태양광 에너지 생산에 유리한 조건을 갖추고 있다. 반면에 중위도에 분포하고 있는 우리나라는 저위도에 위치한 국가에 비해 수평 일사량이 적고 이에 따른 태양광 잠재 발전량도 상대적으로 적다.

[그림 3-7] 전지구 수평일사량(좌)과 태양광 발전 잠재량 분포(우)

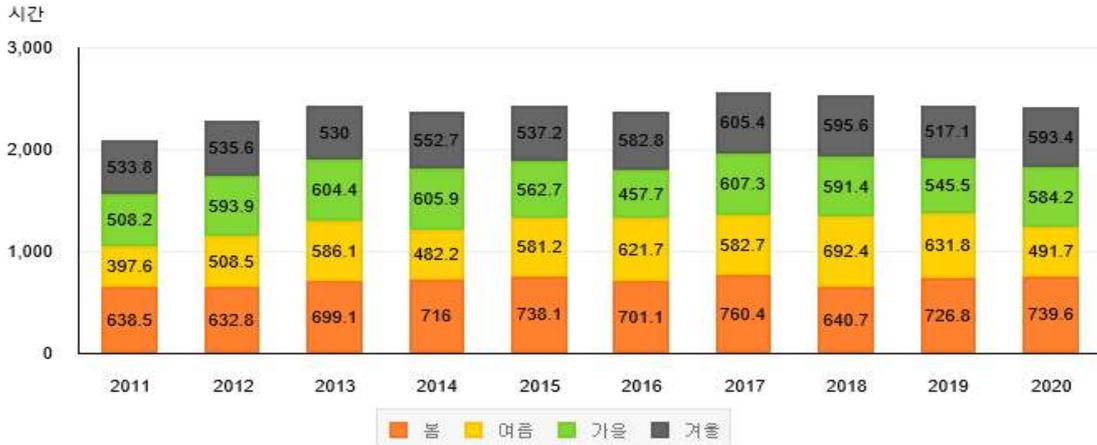


출처 : Global Solar Atlas

태양광발전은 지구 자전에 의한 낮과 밤이 생겨남에 따라 하루 평균 발전량이 제한되어 있다. 일조시간이란 태양 광선이 구름이나 안개에 의해 가려지지 않고 땅을 비추는 시간을 의미하며, 일조시간에 의해 태양광에 의한 발전량의 차이가 발생한다. 우리나라의 경우 최근 10년간 연평균 일조시간은 2365.7시간으로 봄철의 일조시간이 699.9시간, 여름 555.1시간, 가을 567.9시간, 겨울 559.6시간 순으로 분포한다. 이러한 일조시간은 해마다 차이를 보이는데, 최장 기간 장마를 기록한 2020년의 경우 여름철 일조시간이 상대적으로 매우 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이 외에 태양광 발전효율에 영향을 미치는 인자 중 하나는 운량(cloud cover)으로, 구

름은 태양광을 반사시키거나 흡수하여 지면에 도달하는 태양복사량을 감소시킨다. 대기 중의 에어로졸은 태양광을 흡수하거나 산란시켜 지면에 도달하는 태양복사량을 감소시킨다. 이처럼 기상현상 및 대기물질에 의해 일조시간 및 일사량이 영향을 받게 되고 이는 태양광 발전량을 정확하게 예측하는 것을 어렵게 만든다.

[그림 3-8] 계절별 연간 일조시간



출처 : 기상청 기상연보 (2020)

#### 나. 풍력 간헐성

바람은 지구 표면의 불균등한 가열에 의해 발생한다. 바람은 공기의 흐름으로 고기압 영역에서 저기압 영역으로 이동한다. 풍력발전의 기본 원리는 바람에 의해 풍력발전기의 블레이드가 회전하면서 발생하는 기계에너지를 발전기를 통해 전기에너지로 변환하는 것이다. 그러나 바람은 늘 균일하게 불지 않고, 풍력발전기를 설치 가능한 지역과 전기를 사용하는 지역 간의 차이가 종종 발생한다. 대류권에서 바람의 세기는 지면 마찰 효과의 감소로 고도가 높아질수록 강해짐에 따라, 풍력발전기의 허브는 지상으로부터 80~90m 고도에 주로 설치된다<sup>54)</sup>. 풍력발전기의 설치 장소에 따라 크게 육상풍력발전과 해상풍력발전(Offshore Wind Energy)으로 나뉜다.<sup>55)</sup> 풍력발전기는 시동(cut-in) 풍속 이상이 되면 발전을 개시하고 발전기의 정격출력에 달하는 정격 풍속 이상이 되면 피치 제어(pitching control) 혹은 스톨 제어(stall control)에 따른 출력제어를 하며, 중단(cut-out) 속도 이상이 되면 로터의 회전을 멈추고 발전을 정지시킨다<sup>56)</sup>.

이론적으로 연간 풍력발전기가 최대 출력으로 가동하였을 때 예상되는 이론적 발전량 대비 실제 발전량을 일컫는 풍력발전 이용률(capacity factor)은 바람 자원, 풍력 발전기의 성능과 크기 등에 영향을 받는데, 대부분의 풍력발전이 약 25~40%의 풍력발전 이용률을 보인다<sup>57)</sup>. IEA Wind 보고서에 따르면 우리나라 풍력발전 이용률은 21개국 회원국 중 14위에 해당한다<sup>58)</sup>.

54) DOE, Land-Based Wind Market Report: 2021 Edition

55) 한국풍력산업협회 [http://www.kweia.or.kr/bbs/page.php?hid=sub02\\_01](http://www.kweia.or.kr/bbs/page.php?hid=sub02_01)

56) 고해상도 규모상세화 수치자료 산출체계를 이용한 남한의 풍력기상자원 특성 분석,

57) IEA, IEA Wind 2014 Annual Report

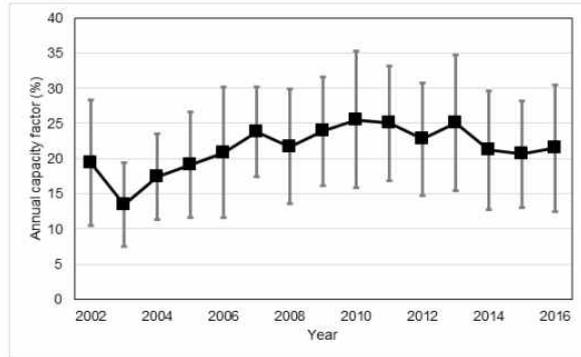
58) 김현구, 강용혁, 김창기 전력통계정보시스템 (EPSIS) 풍력발전자료에 의한 국내 풍력발전 현황 및 이용률 분석 (2017) 풍력에너지저널

2002년부터 2016년까지의 우리나라의 연간 풍력발전 이용률을 살펴보면 대략 20%를 중심으로 매년 변동하는 것을 확인할 수 있다.

[그림 3-9] IEA Wind 21 개국의 연간 풍력발전 이용률 (좌)과 우리나라 풍력발전 이용률 (우)

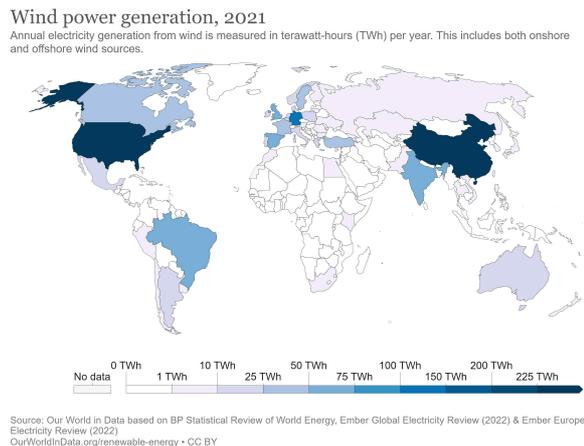
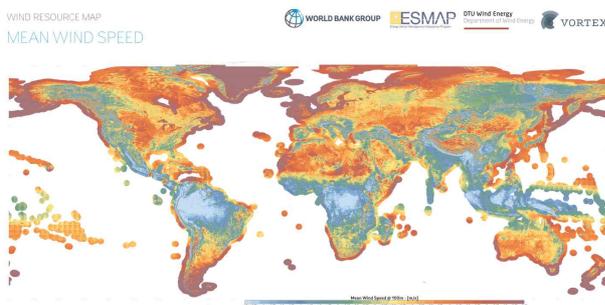
Table 1 Average capacity factor by IEA Wind countries

Country	Annual capacity factor (%)				Average (%)	Rank
	2011	2012	2013	2014		
Austria	-	30.0	24.0	24.0	26.0	12
Canada	31.0	31.0	31.0	31.0	31.0	2
China	-	22.4	23.7	21.6	22.6	16
Denmark	28.4	22.6	27.1	30.8	27.2	8
Finland	28.0	24.0	26.0	27.0	26.3	11
France	21.7	24.0	23.2	22.6	22.9	15
Germany	19.0	-	18.5	18.7	18.7	21
Greece	-	-	27.5	27.5	27.5	7
Ireland	31.6	28.4	30.5	28.7	29.8	5
Italy	18.0	-	21.0	20.0	19.7	19
Japan	19.0	19.9	17.0	22.0	19.5	20
Korea	25.0	22.8	25.1	21.2	23.5	14
Mexico	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	4
Netherlands (offshore)	-	(39.5)	(38.6)	(37.5)	(38.5)	-
Norway	31.3	31.2	29.2	31.0	30.7	3
Portugal	26.0	28.0	29.0	28.0	27.8	6
Spain	-	24.1	26.9	25.4	25.5	13
Sweden	-	26.0	28.3	26.7	27.0	10
Switzerland	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18
UK (offshore)	27.4	27.4	-	26.4	27.1	9
US	33.0	33.0	32.1	32.3	32.6	1



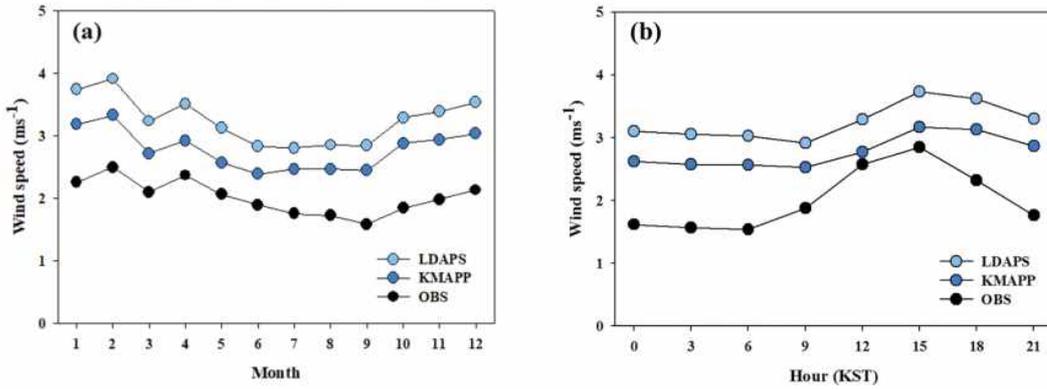
출처 : 김현구 외 (2017)

[그림 3-10] 전지구 평균 풍속(좌)과 2021년 풍력 발전량(우)



우리나라의 10m 고도 풍속의 월별, 시간별 시계열에 따르면 봄부터 여름까지 풍속이 감소하다가 가을부터 겨울까지 풍속이 증가하는 계절성을 보이며, 일변동성의 경우 일출 후인 6시 이후부터 풍속이 증가하기 시작하여 오후 3시간 가장 풍속이 높고 점차 감소하는 경향을 보인다 (윤진아 외 2021).

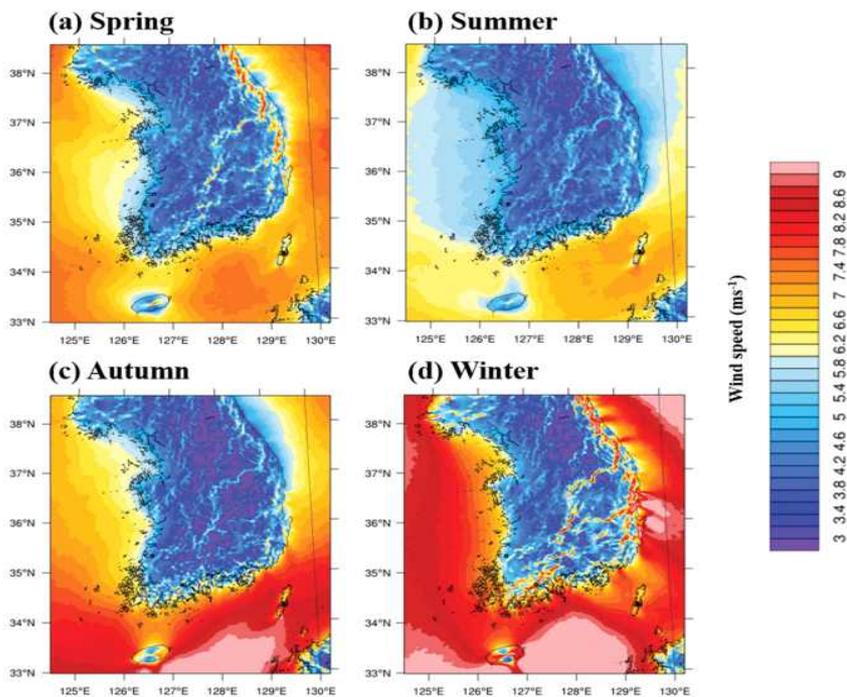
[그림 3-11] 10m 고도 풍속의 월별, 시간별 시계열



출처 : 윤진아 외 (2021)

풍력발전기 높이에 해당하는 약 80m 고도에서 우리나라 계절별 풍속과 풍향을 살펴보면, 겨울철 평균 풍속이 가장 높고 해상에서는 겨울(8.4m/s) > 가을 (7.3m/s) > 여름(6.9 m/s) > 봄 (6.1m/s), 육상에서는 겨울(8.4m/s) > 봄 (4.6m/s) > 여름(4.3 m/s) > 가을 (4.2m/s) 순으로 풍속 강도를 보인다. 계절별 주풍향의 비율은 겨울 > 봄 > 가을 > 여름 순인데, 봄에는 이동성 고기압의 영향으로 서풍 계열이, 여름에는 북태평양 고기압의 영향으로 남동풍과 동풍이, 겨울에는 시베리아 고기압의 영향으로 북풍과 북서풍 계열이 우세하다(윤진아 외 2021). 그러나 한라산, 태백산맥 등과 같은 복잡지형에서는 계절풍보다 지형에 의한 국지적 영향이 더욱 크게 작용한다(윤진아 외 2021).

[그림 3-12] 80m 고도 계절별 풍속 분포

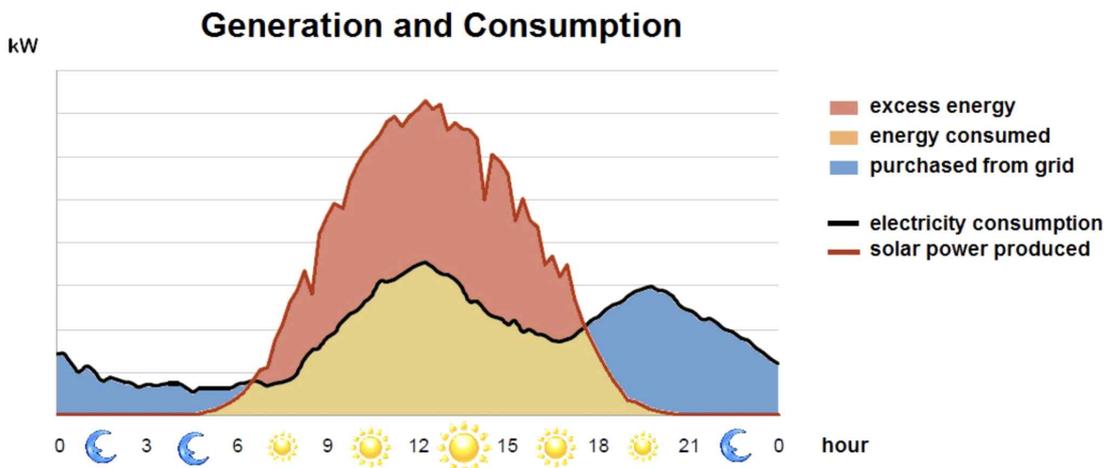


출처 : 윤진아 외 (2021)

### 3. 전력 수요-공급간 불일치

신재생에너지 발전은 기존의 화력 발전 보다 탄소배출량을 줄일 수 있다는 장점이 있지만, 자연에 의존하여 출력 예측과 제어가 어렵다는 단점이 있다 (이유수 2020). 전력계통의 안정성을 유지하기 위해서는 전기 생산량과 사용량을 실시간으로 맞춰야 한다. 하지만 신재생에너지 발전의 간헐성 및 변동성은 전력 수요와 공급의 불일치를 일으키고 전력계통의 안정성을 위협할 수 있다 (Wu 외 2022, Montenegro Cardona 2019). 예를 들어 [그림 3-13] 처럼 계통의 부하(load)가 낮고 태양광 발전량이 높은 낮 시간대에는 잉여전력이 발생할 수 있다. 반대로 태양광 발전량이 계통 부하보다 낮은 시간대에는 다른 에너지를 통해 전력을 생산해야 한다.

[그림 3-13] 전력 수요와 신재생에너지를 통한 전력 공급 불균형 예시

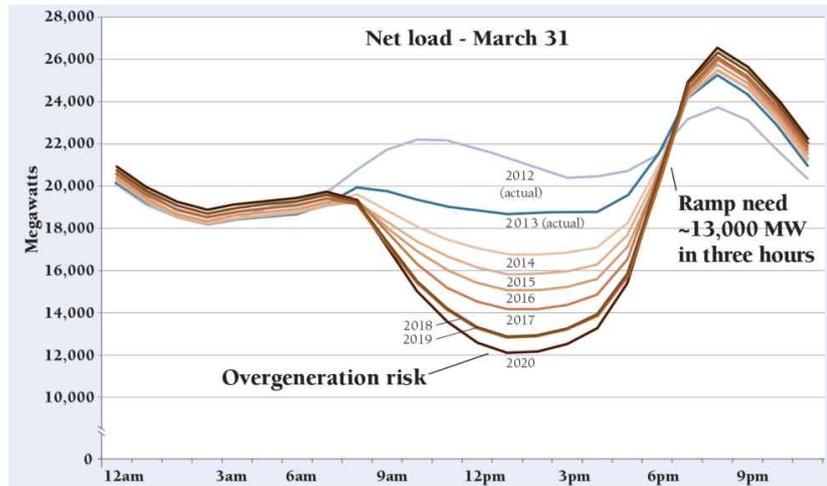


출처 : Sunfish Solar n.d.

국내에서 신재생에너지 발전량 비중이 가장 높은(2020년 기준 16.2%) 제주도의 경우, 풍력 발전에 대한 의존도가 높는데, 2019년 연간 풍력 발전량은 약 550GWh/년으로 2014년의 260GWh/년 대비 두 배 이상 증가했다(제주데이터허브, 2021). 하지만 풍력 발전의 시간대와 계통 부하의 시간대가 일치하지 않으면 전력 공급 과잉이 발생하고 출력 제한을 해야 한다.

한편 전력계통의 부하에서 신재생에너지 발전량을 제외하고 남은 부하를 순부하(net load)라고 하는데, 이 순부하는 기존의 (화력) 발전기를 통해 충족된다. 미국 캘리포니아에서 최근 10년 동안 태양광 설치 용량이 증가함에 따라 낮 시간대에 순부하가 급격하게 감소한 반면, 오후 4-7시에는 순부하가 급격하게 증가하는 패턴이 생겼다[그림 3-14]. 이 순부하의 모양이 오리를 닮았다고 해서 덕 커브(Duck curve)라고 부르기도 한다.

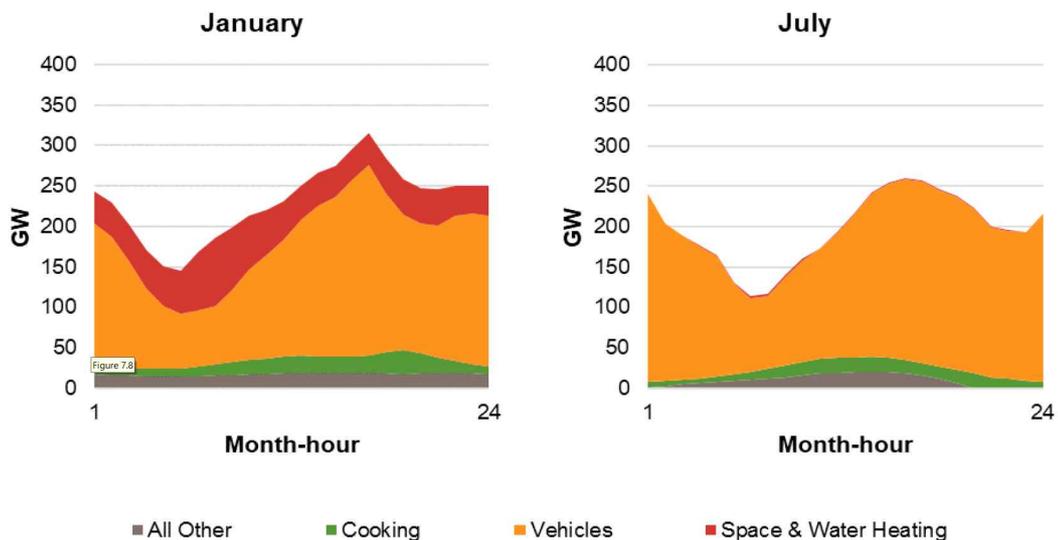
[그림 3-14] 캘리포니아 독립 시스템 운영자(California Independent System Operator)의 순부하 변화 패턴



출처 : CAISO (2016)

지금까지는 늦은 오후에 순수요가 급격하게 증가하는 덕커브가 태양광 발전량이 많은 봄에 많이 나타났다. 하지만 높은 전기차 보급률과 난방의 전기화(electrification)로 인해서 다른 시 즌에도 덕커브가 발생할 수 있다. National Renewable Energy Laboratory(NREL)의 연구진에 따르면 전기차 사용의 증가와 난방시스템의 전기화는 겨울과 여름의 늦은 오후에 전력계통의 부하를 증가시킬 수 있다고 밝혔다[그림 3-15]. 그런데 문제는 짧은 시간에 가파르게 증가하는 순수요에 맞춰 화력 발전기를 가동해야 한다는 것이다. 한 연구진은 이 경우 전기 발전 효율이 기준 시험 조건과 비교하여 매우 감소하고 단위 발전량 당 온실가스(green house gases) 및 대기 오염 물질(criteria air pollutants) 발생량이 증가할 수 있다고 밝혔다(Ebrahimi 외 2018).

[그림 3-15] 미국의 1월 및 7월 전력계통 시간별 수요 패턴 (높은 전기차 보급률 및 전기화 시나리오 가정)



출처: Mai 외 (2018)

#### 4. 전력 계통 한계 및 출력 제한

최근 전력산업의 패러다임은 대규모 발전소가 생산한 전력을 초고압 전력망을 통해 중앙집중으로 전송하는 기존의 방식에서 탈피해 탈탄소화·분산화·지능화를 지향하는 발전 형태로 진화하고 있다. 특히 신재생에너지의 보급과 분산 에너지의 확대에 의해 전력의 수요공급 체계가 변화하고 있으므로 기존의 발전-송전-배전-소비자 순서의 일방적인 단방향 전력망 구성만으로는 신재생에너지와 소비자수요를 고려한 전력 공급에 어려움이 있다. 이러한 가운데 변동성이 큰 태양광 발전과 풍력발전의 급격한 증가로 인해 전력계통의 불안정성이 증가하고 있다. 변동성 재생에너지는 기상 상황에 대한 의존도가 높고 자체적인 출력량 조절에 한계가 있으므로 안정적인 전력 수급이 어려운 실정이다.

[그림 3-16] 재생에너지 확대가 전력계통에 미치는 영향



출처 : 에너지경제연구원 (2020)

특히 제주도의 경우 도내 신재생에너지의 발전설비가 빠르게 확대됨에 따라 ‘12년 ~ ‘18년 동안 신재생에너지 보급용량의 연평균 증가율은 약 36.5%, 신재생에너지 발전량은 약 42.1% 수준으로 빠르게 증가하고 있다<표 3-1>. 또한 2020년을 기준으로 제주도의 재생에너지 설비용량 비율은 36%, 발전량은 16.2%를 달성하였다.

<표 3-1> 제주도 신재생에너지 누적 보급용량(설비용량) 추이

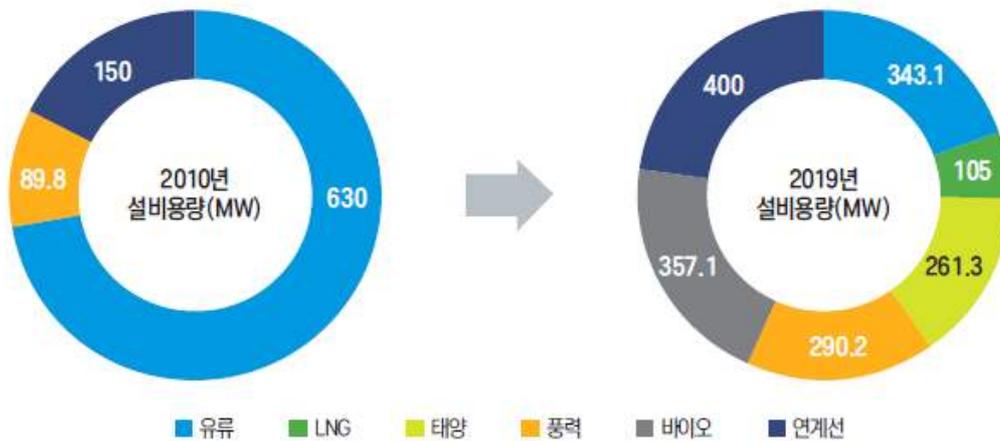
(단위: MW, %)

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR ('12~18)	
전국 신재생 설비용량비중 (신재생 설비용량)	10.0% (8,141)	11.4% (9,937)	12.7% (11,860)	14.1% (13,729)	13.1% (13,846)	13.4% (15,703)	16.0% (19,027)	8.1 (15.2)	
제주도 신재생 설비용량비중 (신재생 설비용량)	13.2% (114)	17.2% (143)	46.8% (418)	50.4% (513)	53.0% (576)	54.1% (603)	54.6% (737)	26.7 (36.5)	
태양광	전국	1,024	1,555	2,481	3,615	4,502	5,835	8,099	41.2
	제주도	15	24	77	106	122	148	207	54.9
풍력	전국	492	583	645	853	1,035	1,143	1,303	17.6
	제주도	96	99	160	222	273	273	270	18.8

출처 : 한국에너지기술평가원 (2020)<sup>59)</sup>

과거 제주도는 주된 발전원료로 유류를 사용해왔으나 풍력발전을 중심으로 유류 발전의 의존도에서 벗어나 재생에너지의 보급이 확대되고 있다. 2019년 풍력 발전설비의 규모는 290.2MW로 이는 2010년의 89.8MW 대비 약 3.2배 이상의 규모이다[그림 3-17]. 이에 제주도는 재생에너지 확대에 따른 전력계통의 불안정 문제를 인식하고, 장기적으로 고압직류송전설비인 HVDC(High Voltage Direct Current)의 의존도를 낮추는 동시에 태양광, 풍력, 수소, 연료전지의 비중을 높여나가는 목표를 가지고 있다.

[그림 3-17] 제주도 전력설비용량의 변화



출처 : 에너지경제연구원 (2020)<sup>60)</sup>

한편 풍력발전기는 대부분 에너지저장시스템인 ESS(Energy Storage System) 능력이 낮아 발전과 동시에 전기를 소비하는 방식으로 운영되기 때문에 공급이 높으면 과부하를 피할 수 없다. 이에 전력거래소는 신재생에너지 발전량이 과도하게 증가하면 과부하를 방지하기 위해 출력제한(Curtailment)을 통해 발전을 중단하도록 하고 있다. 그러나 각 지역의 전력계통 상황을 충분히 고려한 구체적인 제한대상 및 출력제한 발전기 선정에 대한 세부적인 방안을 마련되어 있지 않은 실정이다. 이러한 가운데 신재생에너지 발전량이 전국 대비 2배 이상 높은 제주도에서는 2015년 이후로 매년 풍력 발전설비의 출력제한 횟수와 제어량이 증가하는 추세이다. 2015년 3회에 불과했던 풍력 발전설비 출력제한 횟수가 2017년에는 14회, 2019년에는 46회로 늘어나더니 2020년에는 77회로 급속도로 증가하였다 <표 3-2>.

59) 한국에너지기술평가원, “그린에너지뉴딜 브리프”, 2020

60) 에너지경제연구원, 제주도의 재생에너지 확대와 전력계통의 안정적 운영 방향, 이태의, 2020



이러한 제주도의 풍력발전 출력제한 문제는 제주도에만 국한되는 문제가 아니다. 향후 재생 에너지를 확대·적용해야 할 우리나라 전체 전력계통에도 동일하게 적용될 문제이다. 신재생에너지 확대에 따른 전력계통의 불안정성이 커지면서 중앙집중형 수요공급 시스템을 기반으로 하고 있는 현행 관련 법령과 시장 제도의 정비에 대한 요구가 증가하고 있다.

<표 3-3> 주요국의 분산에너지 정책 추진 현황

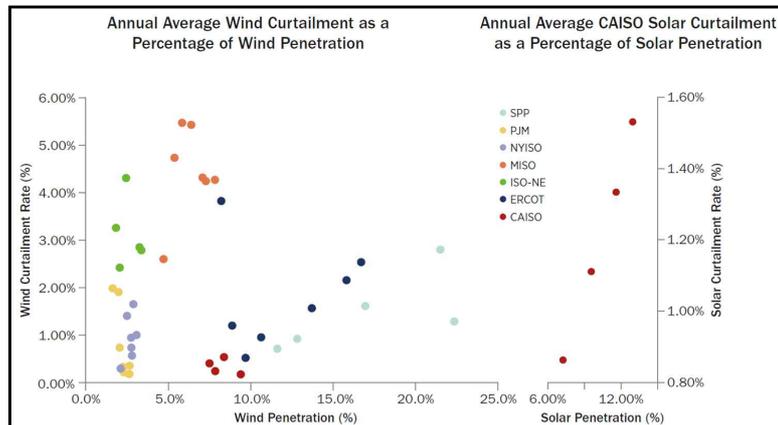
	주요 국가별 분산에너지 정책
미국 캘리포니아	- 분산자원과 배전망 인프라 연계 강화 및 전력 요금제 개편 (‘17.5월)
미국 뉴욕	- 분산자원 도매시장 참여 지원을 위한 로드맵 수립 (‘17.1월)
일본	- 재해 발생 시 독립운영이 가능한 분산형 전력 체계 계획 수립 (‘19.12월)
호주	- 분산 에너지 수용성 확대를 위한 로드맵 수립 (‘19.12월)
유럽	- 온실가스 감축을 위한 에너지로드맵 수립 (‘11.11월) - 계통운영 관련 에너지 기술개발계획 발표 (‘14.12월)

출처 : 산업통상자원부 (2021)<sup>64)</sup>

이에 주요국은 <표 3-3>과 같이 분산에너지 활성화를 위한 대책을 수립하여 추진하고 있으며, 우리나라의 경우 「제3차 에너지기본계획」(산업통상자원부)을 통해 분산형 전원 발전량의 비중을 ‘40년 30%까지 확대하는 것을 목표로 하고 있다. 분산형 전원의 안정적인 확대를 위해서는 수요지 인근 발전설비를 확대 지원하고, 다양한 분산 전원이 효과적으로 전력시장에 참여할 수 있도록 시장 제도를 정비하고 계통을 보강할 필요가 있을 것으로 판단된다.

미국에서도 비슷한 현상이 확인되었다. 미국의 경우 SPP, PJM, NYISO, MISO, ISO-NE, ERCOT, CAISO 등 7개의 독립 시스템 운영자(Independent system operator)가 각 지역의 전력 공급 및 수요를 관리한다. [그림 3-19]는 독립 시스템 운영자 별 신재생에너지 보급률(renewable penetration = 신재생에너지 발전량/전체 발전량) 대비 출력 제어 비중을 보여준다. 모든 지역에서 풍력 또는 태양광 보급률이 높아짐에 따라 출력 제어 비중 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[그림 3-19] 미국의 독립 시스템 운영자 별 신재생에너지 보급률 대비 출력 제어 비중. 풍력 (좌), 태양광 (우)



출처 : Sun 외 (2020)

64) 산업통상자원부, 분산에너지 활성화 추진전략, 2021

## 5. 주민 수용성

### 가. 주민 수용성의 개념 및 범위

신재생에너지는 기존 전통적인 에너지 대비 청정하고 안전한 에너지로 평가되고 있음에도 불구하고, 정책 실행단계에서 지역 주민들의 반발에 봉착하는 경우가 많다. 기후위기에 대한 경각심이 고조되면서 재생에너지의 보급·확산에 대한 사회 전반의 수용성은 확대되고 있음에도 불구하고 정작 신재생에너지 발전소 주변 지역 주민 수용성(Community acceptance)은 저조한 모습이 나타나고 있다.

통상적으로 기술의 사회적 수용성(Social acceptance)은 실용적인 정책 용어로서 자주 사용되는 용어이나 명확한 정의는 없어 사회적 수용성의 층위와 범위에 대해서는 선행연구마다 차이가 있다. 이에 Wüstenhagen et al(2007)에서는 개념의 명확화를 위해 기술의 사회적 수용성(Social acceptance)을 사회정치적 수용성(Socio-political acceptance), 주민 수용성(Community acceptance), 시장수용성(Market acceptance) 등 3개 차원으로 구분하여 각기 정의를 내리는 방식을 시도<sup>65)</sup>하고 있다. 동 연구에서는 주민 수용성을 지역 거주민, 지자체 등 지역 이해관계자들의 재생에너지 프로젝트 및 입지 결정 등에 특정된 수용성으로 정의하고, 주민 수용성 관련 이슈로서 절차적 정의(Procedural justice), 분배적 정의(Distributional justice), 신뢰(Trust) 등 3개 사항을 지적하였다. 동 연구에서는 절차적 정의는 비용과 이익의 공유 방법, 분배적 정의는 모든 이해관계자에게 참여할 기회를 제공하는 공정한 의사결정 절차가 존재하였는가에 관한 문제이며, 신뢰는 커뮤니티 외부의 행위자와 투자자들의 의도와 정보에 대한 지역 공동체의 신뢰로 정의하고 있다.

[그림 3-20] 재생에너지 혁신의 사회적 수용성 삼각형



출처 : Wüstenhagen et al. (2007)

65) Wüstenhagen, Rolf & Wolsink, Maarten & Burer, Mary Jean. (2007). Social Acceptance of Renewable Energy Innovation: An Introduction to the Concept. Energy Policy. 2683a□□2691. 10.1016/j.enpol.2006.12.001.

우리나라의 경우, 신재생에너지의 수용성에 관한 대표적인 초기 연구로는 이철용(2014)와 이상훈·윤성권(2015)가 있다. 이철용(2014)에서는 사회적 수용성을 국민, 지역주민, 개발 사업자 등 세 가지 주체별 수용성으로 구분하여 파악<sup>66)</sup>하고 있다. 동 주체별 수용성 중 지역 주민의 수용성이 주민 수용성의 개념에 가까운데, 지역 주민의 수용결정의 주된 요소로서 절차적 정당성, 분배 정의 등을 작용하고 있음을 지적하는 점에서 Wüstenhagen et al(2007)과 유사한 접근을 하고 있다. 동 연구에서는 신재생에너지에 대한 사회적 수용성 문제는 국민 수용성을 사회적 수용성으로 오해하기 때문에 발생하고 있음을 지적하면서 사회적 수용성과 지역사회 수용성과의 괴리-사회적 격차(Social Gap) 해결이 필요함을 지적하고 있다. 이상훈·윤성권(2015)<sup>67)</sup>에서는 수용성에 영향을 미치는 요인으로써 절차적 정의, 분배적 정의, 소통 증진을 거론하고 있어 일견 이전 연구들과 차이점을 보이고 있으나, 이 중 소통 증진의 주요 내용이 이해관계자간 의사소통을 통한 상호 신뢰 강화라는 점에서 보면 사실상 동 연구는 Wüstenhagen et al(2007)에서의 주민수용성 영향요인에 관한 관점을 계승하고 하고 있는 것으로 보아야 한다. 그러나, 동 연구는 이에 한발 더 나아가, 우리나라에서의 신재생에너지 관련 갈등사례를 분석함으로써 소음과 경관 변형 등 환경 영향이 뚜렷한 풍력사업에 대해서는 주민과 환경단체들이 반대하는 사례가 자주 등장하고 있음을 지적하고 있다는 점을 주목하여야 한다. 우리나라 사례의 경우 환경적인 요인 역시 주민 수용성에 크게 영향을 미치는 요소로서 작용하고 있음을 시사한 것이다. 그 이후 진행된 연구인 이승문·정성삼(2019)<sup>68)</sup>에서는 주민수용성 문제가 발생하는 주요 이유로 환경적 요인, 절차적 요인, 분배적 요인 등 3대 요인으로 구분하고 있는데, 신뢰에 관한 내용 대신 기존 연구에서 다루지 않았던 생태계 파괴 및 소음·오염 등 환경적 요인을 주요 요인으로 거론하고 있는 차이점이 있다.

신재생에너지 분야는 대체적으로 청정하고 안전한 에너지라는 대중적인 인식이 있기 때문에 풍력, 태양광 등 신재생에너지 발전단지 설치시에는 안전사고로 인한 반발감은 대체적으로 낮은 편이지만, 일부 기술 분야의 경우 기술 분야상의 특성으로 추가적인 대응이 필요하다. 일례로, 최근 수소경제의 부상으로 인해 수소에너지의 보급·확산이 가속화되고 있으나, 동 에너지 분야는 다른 재생에너지 분야와 달리 폭발가능성 등 위험성에 대한 대중의 부정적인 인식이 수용성을 저하시키는 특성을 가지고 있는 분야이다(Scovell(2022))<sup>69)</sup>. 우리나라에서도 인천 동구 사례에서 수소 에너지의 안전성에 대한 불신으로 인한 편향으로 인해 주민들이 수소연료전지 발전소를 혐오시설로 인식하여 강력한 반발을 야기했던 사례 등에서 마찬가지로 현상이 관찰된다.

66) 이철용. (2014). 신재생에너지에 대한 지불의사액 추정 및 사회적 수용성(PA) 제고 방안 연구, 기본연구보고서 14-13, 에너지경제연구원.

67) 이상훈·윤성권. (2015). 재생에너지 발전설비에 대한 주민 수용성 제고 방안. 환경법과 정책 제15권(2015.9.30.).

68) 이승문·정성삼. (2019). 신재생에너지 수용성 개선을 위한 이익공유시스템 구축 연구, KEEI 정책 이슈페이퍼 19-06, 에너지경제연구원.

69) Mitchell D. Scovell. (2022). Explaining hydrogen energy technology acceptance: A critical review. International Journal of Hydrogen Energy Volume 47. Issue 19, 1 March 2022.

### 나. 신재생에너지 분야별 주민수용성 문제

재생에너지 3020, 에너지기본계획 등을 통해 신재생에너지 중심 에너지전환 정책이 강화되면서, 태양광·풍력 등을 중심으로 한 청정에너지 보급 사업 확대가 더욱 활발히 추진되고 있다. 한국에너지공단 신·재생에너지센터에서 공개한 2019년 신재생에너지 누적보급용량을 살펴보면, 신재생에너지 총 용량 합계(19,651,437kW) 중 태양광 발전 비중이 전체의 59.9%(11,767,747kW)를 차지하고 있으며, 그 다음, 바이오에너지(16.0%), 수력(9.2%), 풍력(7.6%) 순으로 비중이 높은 것으로 나타났다. 신재생에너지 신규 보급 용량을 살펴보면, 태양광(84.4%), 바이오에너지(6.5%), 풍력(4.3%) 순으로 나타나, 최근의 신재생에너지 보급 확대 정책은 태양광, 바이오에너지, 풍력을 중심으로 이루어지고 있음을 추정할 수 있다.

[그림 3-21] 신재생에너지 보급 용량(신규)



출처 : 한국에너지공단 신재생에너지센터 홈페이지

주민수용성 문제는 본격적인 에너지 전환 정책의 시발점이 되었던 재생에너지 3020 이행계획에서부터 수용성/환경성 사전 확보 및 개발이익 공유를 추진하는 내용이 들어가 있었으나, 정책 마련에도 불구하고 주민수용성에 관한 문제는 지속적으로 제기되고 있는 상황이다. 주민수용성 이슈와 관련된 세부적인 장애요인은 기술 특성에 따라 다소의 차이가 있다.

#### (1) 태양광

국민권익위원회에서 2018년 1월부터 2021년 6월까지 문원분석시스템에 수집된 태양광 관련 민원 20,972건을 분석<sup>70)</sup>한 결과, 태양광 관련 민원은 2018년~2020년간 월평균 419건 수준으로 유지되었으나, 2021년 상반기에는 이전 3개년 대비 135% 급증한 월평균 983건인 것으로 나타나고 있다.

70) 국민권익위원회. (2021). 태양광 발전 관련 민원 분석 결과(요약), 국민권익위원회 보도자료(2021.10.29.(금)) 붙임 1.

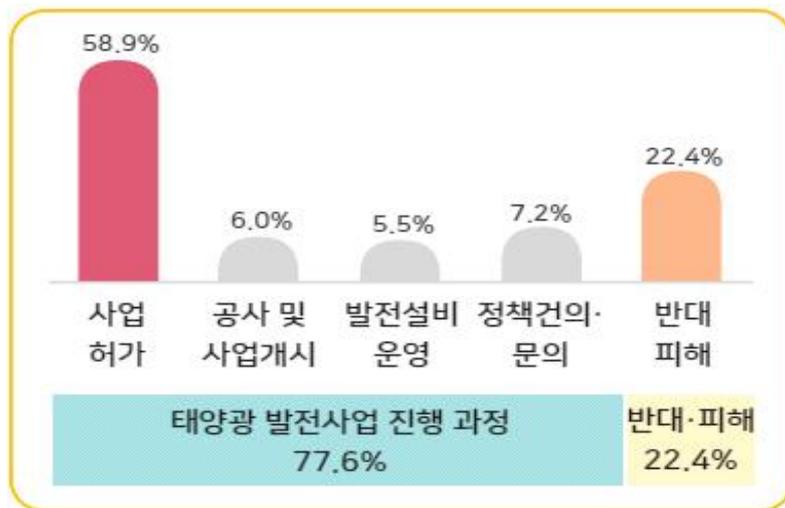
[그림 3-22] 월별 태양광 발전 관련 민원 제기 건수의 월별추이



출처 : 국민권익위원회 (2021)

국민권익위원회에서는 신재생에너지 공급 인증서 발급 대상 설비 확인시 개발행위허가 면제 대상인 경우 이를 입증하는 서류제출이 의무화(‘20.7)되면서 관련 민원이 급증한 것으로 분석하고 있으며, 실제 유형별 분석을 살펴보면 태양광 발전 사업 진행과정에 관한 내용이 민원의 77.6%(16,227건)를 차지하고 있는 점을 알 수 있다. 주민수용성과 직결되는 주민들의 반대와 피해에 관한 사항은 전체의 22.4%(4,695건)에 해당하며, 주로 산림·경관 훼손, 주변 온도 상승, 산사태, 전자파, 지하수 오염, 부동산 가치하락, 농작물 피해, 눈부심 등 환경적·경제적 피해를 이유로 민원을 제기하고 있는 것으로 조사되었다.

[그림 3-23] 민원유형별 비중

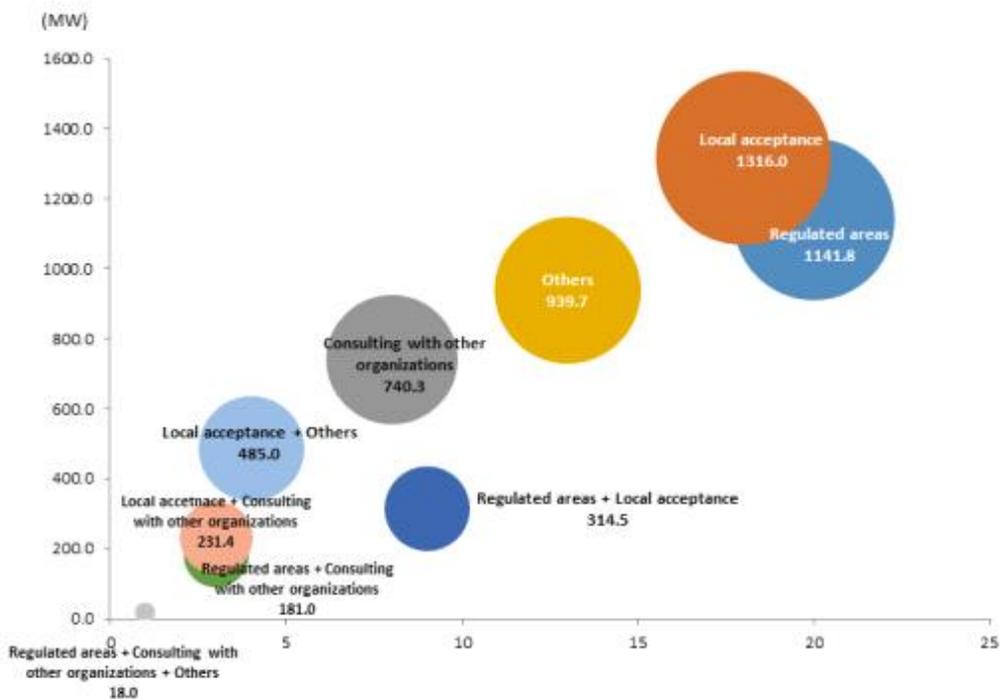


출처 : 국민권익위원회 (2021)

## (2) 풍력

국내 240개의 풍력 발전 사업을 분석한 결과에 따르면<sup>71)</sup>, 자연 사업으로 분류된 79개 사업에서 주민 수용성 확보에 어려움을 겪는다고 응답한 사업은 18개(1316.0MW)로 나타나고 있다. 이는 주민수용성 문제를 단독사유로서 응답한 사업 기준으로, 중복사유를 고려할 경우 관련 문제를 겪고 있는 사업 수는 더욱 늘어나게 된다. 주민수용성 문제와 함께 거론되는 장애요인은 입지애로(9개), 기타 사유(4개), 기타 부처와의 협의 과정(3개)으로, 79개 사업 중 총 34개 사업이 주민수용성 문제로 난항을 겪고 있는 것으로 나타나고 있다.

[그림 3-24] 장애요인별 풍력사업의 용량 및 개수



출처 : 박성우·전의찬 (2022)

세부적인 문제를 살펴보면, 가장 많은 사례수가 나타난 원인은 보상금 등 경제적인 이유인 것으로 나타난다. 일부의 과도한 보상을 바라는 경우나, 타 지역 보상 수준 대비 형평성이 부족하다는 불만 등이 이에 해당한다. 그러나, 풍력발전은 태양광과는 달리 대규모 투자가 필요한 특성상 이익공유가 가능한 주민참여형 사업 추진에도 한계가 있는 것으로 파악되고 있어, 경제적인 수단으로 주민수용성 문제를 해결하기에는 한계가 있는 상황이다. 지역주민들의 직접적인 반대는 주로 소음, 환경훼손, 경관 등 이유로 한 주민들의 직접적인 반대도 주요 원인인데, 지방자치단체의 풍력발전에 대한 부정적인 태도 역시 주민들의 반대로 인한 민원을 우려하기 때문인 경우도 환경소유주의 반대는 풍력발전단지에 사유지가 포함된 경우 해당 대지에 대한 매입 혹은 임대계약절차를 진행하는 과정에서 상당 기간이 소요되는 것을 지칭한다.

71) 박성우·전의찬. (2022). 풍력발전사업의 주요 장애요인 분석과 시사점 -풍력발전 사업 주체의 관점에서-, 한국기후변화학회지 Vol. 13. No. 1, pp. 011~021.

<표 3-4> 주민수용성 관련 장애요인

구분	개수	용량(MW)
보상	20	1499.6
지방자치단체의 부정적 태도	12	877.1
소음, 환경 훼손 혹은 경관	9	247.4
토지소유주의 반대	4	176.2
이해관계자의 부정적인 태도	1	352.0

출처 : 박성우·전의찬 (2022)

(3) 바이오매스 발전

바이오매스 발전에 대해서는 타 신재생에너지 분야와는 달리 환경 오염 및 생태계 파괴, 가족들 안전 및 건강우려 등 생태계 파괴 및 인체유해성 등에 관한 우려와 함께 집값 및 땅값 하락 등 경제적 요인에 대한 반발이 큰 점<sup>72)</sup>에서 차이가 있다(이혜정 외(2020)). 바이오매스 발전은 유기성 폐기물을 이용하는 특성상 친환경적임에도 불구하고 주민들의 환경오염 우려가 높은 것은 모순되는데, 이는 바이오매스에 대한 낮은 인식이 영향을 미친 것으로 추정되고 있다. 이에 따라 동 연구에서는 인식제고를 위한 체계적인 교육 및 홍보전략 시행이 필요함을 지적하고 있다.

<표 3-5> 신규 신재생에너지 발전소를 반대하는 이유 조사 결과(바이오매스 분야)

(단위 : %)

신재생에너지	대상	환경오염 및 생태계 파괴	농작물 및 축산피해	경관훼손	소음피해	집값 및 땅값 하락	발전설비 건설/운영에 관한 사업의 방식 불만족	건설/운영과정에서의 사고 등에 의한 가족들 안전 및 건강우려	기타	계
바이오매스	일반주민	50.8	1	4.1	4.7	10.9	6.7	20.7	1	100.0
	지역주민	58.3	3.3	0	0	16.7	0	21.7	0	100.0

출처 : 이혜정 외 (2020) 내용 중 바이오매스 부분 발췌

고형연료(바이오매스 포함) 발전시설 관련 주민수용성 연구를 진행했던 신동현(2020)<sup>73)</sup>에서는 다른 차원의 접근방식이 필요함을 지적하고 있다. 동 연구에서 조사한 결과, 고형연료 발전에 대한 지지는 높은 수준임에도 불구하고 발전거리에 따라 반대 비중이 유의미하게 바뀌는 점이 관찰되었다. NIMBY 성향이 강하게 나타나는 사안임을 시사한다. 즉, 바이오매스 발전에 있어서 주민수용성의 관건은 연료의 형태가 아닌 발전소와의 거리에 있는 것이다. 이에 따라 동 연구에서는 수용성 제고를 위해 환경규제 및 감시·관리·감독 체계의 강화, 주변지역 지원 및 발전용량의 최소화 조치를 제안하고 있다.

72) 이혜정·허성운·우종률·이철용. (2020). 신재생에너지 발전 사업에 대한 국민 및 지역 주민수용성 비교연구 - 태양광, 풍력, 바이오 발전을 중심으로, 한국혁신학회지 vol. 15. no. 1, pp. 26-62.

73) 신동현. (2020). 고형연료 발전시설 관련 주민 수용성 연구, 자체 연구보고서 20-01, 에너지경제연구원.

&lt;표 3-6&gt; 고품연료 발전소에 대한 인식

내용	매우 찬성	대체로 찬성	보통	대체로 반대	매우 반대
국가적인 차원에서 고품연료 사용	12.3%	52.5%	28.2%	6.3%	0.7%
거주지 100km 밖에 고품연료 발전소 건설	8.5%	42.0%	35.2%	11.5%	2.7%
거주지 10km 이내에 고품연료 발전소 건설	2.3%	22.5%	33.5%	29.0%	12.7%

출처 : 신동현 (2020)

## (4) 수소/연료전지 발전소

우리나라에서 수소에너지 가치사슬 전반에 대하여 인식조사 및 주민수용성 관련 연구를 진행한 사례는 아직 발견되지 않는다. 다만, 인천 동구의 연료전지 발전소 건설 관련 사례 등을 분석해보면 주민 반발의 주요 요인으로서 폭발위험성으로 인한 안전성 문제가 주로 제기되고 있는 점을 알 수 있다. 이는 해외에서 지적되고 있는 대중들의 수소에너지에 대한 인식조사와도 일치한다. Cox & Westlake(2022)<sup>74</sup>가 발표한 조사 결과에 따르면 수소와 관련하여 가장 먼저 떠오르는 단어 중 에너지, 재생, 화석연료, 물 등 사물 자체를 지칭하는 단어를 제외하면 위험(Danger/ous)의 비중이 높은 것을 알 수 있으며, 이외 안전성, 폭발성, 위험도 관련 단어도 빈번하게 출현하고 있는 점을 알 수 있다.

&lt;표 3-7&gt; 수소와 관련하여 가장 먼저 떠오르는 연상-참여자 가장 빈번하게 언급한 단어 수(n=464)

	Number	%
Energy	152	32.8%
Renewable	109	23.5%
Fossil Fuel	77	16.6%
Water	50	10.8%
Danger/ous	47	10.1%
Expensive	41	8.8%
Safe / safety	33	7.1%
Flammable	29	6.3%
Risk/risks/risky	14	3.0%

출처 : Cox &amp; Westlake (2022)

이는 다수 해외조사에서 대중들이 수소 에너지 자체에 대한 인식에 대해서는 긍정적인 태도를 보이고 있는 점과는 상반되는 지점이다. 따라서, 효율적으로 대중에게 수소 에너지의 안전성에 대한 홍보전략과 함께 기술적으로도 안전성에 관한 신뢰를 쌓을 수 있는 방안을 강구할 필요성이 있다.

74) Emily Cox & Steve Westlake. (2022). Public perceptions of low-carbon hydrogen. UK Energy Research Center News 06 Jan 2022.

다. 주요 요인별 접근 방향

재생에너지의 주민 수용성 제고에 대해서는 주민 수용성에 영향을 미치는 주요 요소(환경적 요인, 절차적 요인, 분배적 요인)별로 대응 방안이 시행되고 있다. 환경적 요인에 대해서는 시설입지 및 관리 가이드라인 제시, 환경성 평가 협의 지침 등을 위해 사전에 환경훼손 및 인체 위해성 발생 요인을 최소화시킬 것을 요구하고 있다. 아울러, 주민과의 갈등 최소화를 위해 아예 산단 공장 지붕, 댐/저수지 유휴수면 등 국가·지자체가 관리하는 유휴부지를 최대한 발굴하여 활용하는 방안도 함께 추진<sup>75)</sup>되고 있다.

[그림 3-25] 유휴부지를 활용한 태양광 설치 사례



출처 : 한국에너지공단 신재생에너지센터 블로그

절차적 요인에 대해서는 계획입지제도, 발전사업 허가신청시 사업 내용 사전 고지 등의 조치를 통해 지역 주민들이 사전에 사업 내역을 인지·숙의할 수 있는 시간을 확보할 수 있도록 하고 있다.

75) 출처 : 한국에너지공단 신재생에너지센터 블로그(<http://blog.energy.or.kr/?p=24017>)

&lt;표 3-8&gt; 재생에너지 수용성 저해 요인과 정부 정책

	갈등 요인	현행 제도
환경적 요인	· 빛반사, 중금속 오염, 전자파, 소음, 경관 및 산림 훼손, 산사태, 보호생물종 등	· 태양광 발전시설 입지 가이드라인(산업부, 2017) · 육상태양광발전사업 환경성 평가 협의지침(환경부, 2018) · 저주파 소음 관리 가이드라인(환경부, 2018)
절차적 요인	· 시설입지, 사업추진 계획, 환경피해 등에 대한 충분한 사전공지 및 주민들과의 협의 없이 진행되는 경우 갈등이 더욱 크게 야기됨 - 이러한 갈등은 사후 해결이 어려움 · 지자체 인력 부족으로 환경영향평가등의 행정절차가 제대로 이뤄지지 못함	· 발전사업 허가기준 고시 개정안(2018) - 발전사업자는 발전사업허가신청 이전에 지자체의 장에게 사업내용을 고지하고, 지자체장은 전자관보 및 지역주민이 쉽게 알아볼 수 있는 곳에 7일 이상 게시 · 계획입지제도를 통한 수용성 사전 확보
분배적 요인	· 외지인 주도의 개발사업을 통한 이익독점과 실질적인 피해에 노출된 마을 주민들에 대한 보상체계 미흡	· 주민참여를 통한 이익공유 주민참여 신재생 발전사업 인센티브제도 · 농촌태양광사업 지원 · 농촌태양광 정책금융 확대 ('17년 320억원→ '18년 1,500억원)저리의 민간 협약보증 상품 출시 · 신안군 '신재생에너지 개발이익공유 조례'제정 제주 '풍력개발 이익공유화제도'

출처 : 이승문·정성삼 (2019)

분배적 요인으로 인한 갈등해결을 위해서는 각종 이익공유제도를 시행하고 있다. 우리나라의 경우 지역주민들이 현물보상을 원하는 경우가 많으나 단순 현물보상은 법률상의 근거가 없고 재원 한계 등 여러 가지 문제를 야기한다. 이에 따라, 지분, 채권·펀드 투자, 주민참여형 발전소 등을 이익공유제도로 추진하고 있으나 아직까지 운영 실적은 다소 저평가되고 있다. 현재 이에 따라 다양한 형태의 마을 활성화 사업에도 REC 가중치 등을 부여하는 등의 인센티브 다양화 등의 조치의 필요성이 논의되고 있다.

&lt;표 3-9&gt; 이익공유제도의 유형

구분	내용	대표국가
지역소유	개발사업자가 지역사회에 주식을 제공하거나 보증	독일, 스페인
마을기금	개발사업자가 마을에 기금을 제공하여 공동프로젝트를 추진하거나 지역세 감면효과 도출	스웨덴
보상	개발사업자가 예상되는 피해(생태파괴 등)에 대해 보상	프랑스
현물수당	개발사업자가 건설단계에서 지역사회 개선에 기여 (ex. 사회적 의제, 교육, 개발사업 등)	그리스
지역고용·계약	개발·건설·운영을 위한 지역 내 고용창출 및 지역업체 우선 계약	캐나다
에너지 가격인하	해당 프로젝트로부터 발생된 전기를 사용할 수 있게 하거나 낮은 가격에 에너지를 구입하도록 혜택부여	네덜란드
간접적 사회적 편입	재생에너지 사업을 통한 지역유명세, 에코관광사업화 등 간접적 이익 제공	덴마크
세제를 통한 보상	신재생에너지 단지가 위치한 지역에 신재생단지 소득세의 일정비율 납부	독일

출처 : 이승문·정성삼 (2019)

상기 모델들은 인간은 합리적이라는 경제학적 전제를 기반으로 시행되는 사항이다. 그러나, 최근 인지과학, 심리학 등의 발전으로 인간의 의사결정은 맥락과 인지능력에 좌우되는 바 편향될 수 있고 환경과 가용 정보가 인간의 합리성에 체계적으로 영향을 미칠 수 있음을 고찰하고 이러한 행동과학적 통찰(Behavioural insights)를 정책에 적용하려는 움직임<sup>76)</sup>이 있다. 수소 에너지의 경우 폭발에 대한 부정적 선입견으로 인한 인지편향이 수용성에 지대한 영향을 미치고 있는 상황이므로, 일각에서는 수소 분야에 대하여 행동과학적 식견에 기반한 인지편향 대응방안을 마련하는 연구도 진행되고 있다.

<표 3-10> 비합리적 편향의 예

- **정착효과(Anchoring)** : 가장 중요하다고 생각하는 정보를 중심으로 의사결정을 하여 추가정보가 제공되더라도 당초 정착지점에서 벗어나지 못하는 효과
- **체험효과(Availability heuristics)** : 관계사례 기억 가능성에 기반하여 일정한 사건의 발생가능성 판단
- **선택/정보 과다(Choice/Information overload)** : 복잡한 상품이나 수많은 선택가능성에 직면했을 때 이들 선택을 무시하고 경험법칙에 의존하게 되는 효과
- **확인 편향(Confirmation bias)** : 어떤 증거를 자신의 기존 믿음이나 기대, 가설에 부합하는 방향으로 해석하는 경향
- **현재상태 선호(Default and status quo effect)** : 현재 상태에서 벗어났을때의 불이익이 이익보다 크다고 느껴 현재의 상태에 남아있고자 하는 경향
- **보유효과(Endowment effect)** : 보유하는 물건에 대해 더 많은 가치를 부여하는 효과
- **공정성(Fairness)** : 자신의 이익 외에 환경 등 사회적 공정성을 고려
- **틀효과(Framing)** : 정보의 내용 뿐만 아니라 제공방식에 영향을 받음
- **근시효과(Hyperbolic discounting/myopia)** : 현재를 미래보다 중시하는 효과
- **과신(Overconfidence)** : 자신의 결과가 보통의 경우보다 더 나을 것이라는 생각
- **점화효과(Priming effect)** : 특정 대상에 반복적으로 노출될 경우 의사결정시 당해 특성에 더 많이 좌우되는 효과
- **사회규범(Social norms)** : 사회 또는 주변집단의 인식과 기대를 의식
- **동태적 비일관성(Time-inconsistency)** : 장기적 이익과 단기적 욕구의 충돌

출처 : 주OECD대표부 (2019)

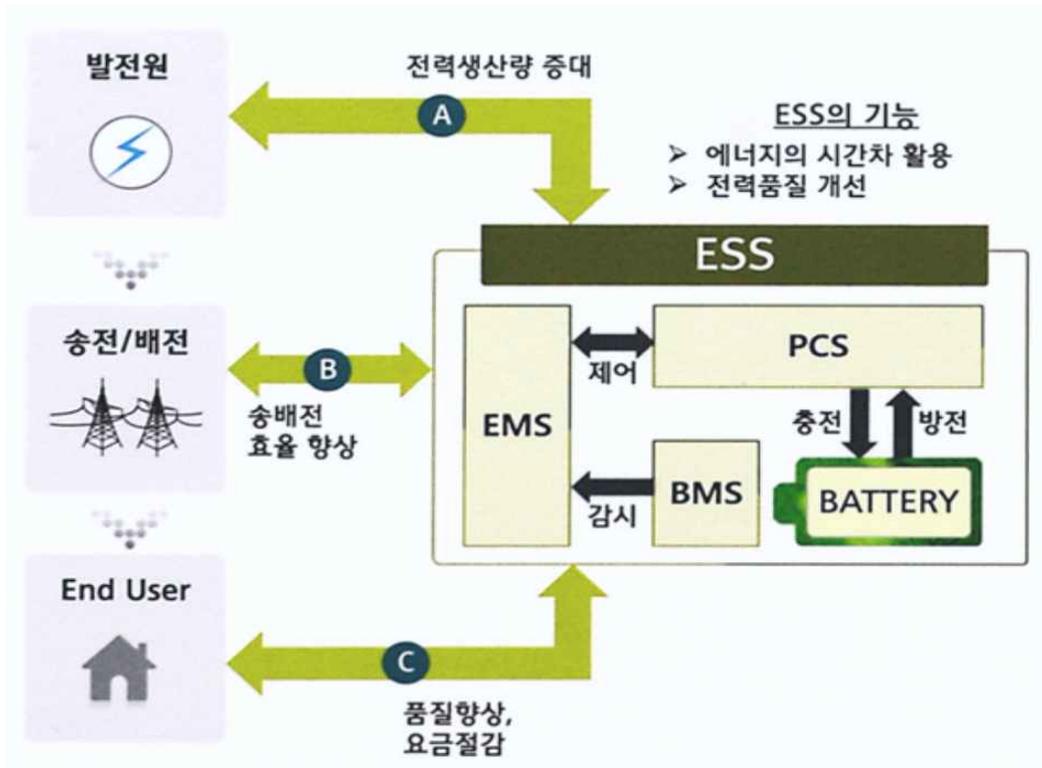
76) 주 OECD 대표부. (2019). 행동과학(Behavioral insights)을 통한 정책분석사례, OECD 정책 동향, 2019-05-10.

## 6. 에너지 저장 장치의 한계 및 안정성

### 가. 에너지 저장장치의 필요성

전 세계적으로 탄소중립 달성을 위한 노력으로 신재생에너지 보급이 확산되고 있다. 하지만 신재생에너지에 포함된 에너지 간헐성(출력변동)문제로 에너지 저장장치의 기술의 중요성이 높아지고 있다. 일반적으로 생산된 전기의 경우 원유, 가스등과 비교하여 에너지 저장에 필요한 비용이 높아 생산과 동시에 소비하는 것이 일반적이며 양수 발전 등 제한적인 형태로만 에너지를 저장해 왔다. 특히 태양광 및 풍력 에너지의 경우 자연환경 조건에 따라 출력이 변동되기 때문에 ESS(Energy storage system)을 활용한 효율적인 에너지관리가 필요하다. ESS시스템은 생산된 전기를 저장하였다가 전력이 필요한 시점에 이용할 수 있게 하는 시스템으로 신재생에너지의 계통 불안정성을 보완해 줄 수 있어 ESS에 대한 수요가 빠르게 증가하고 있다.

[그림 3-26] ESS 시스템 구성도



출처 : 특허청 (2015)77)

### 나. 에너지 저장 장치별 특성

<표 3-11>의 경우 에너지저장 방식별 기술 특성을 간단히 정리하였다. 에너지저장 기술은 물리적, 화학적, 전자기적, 열화학적 방식으로 구분되며 최근 에너지 출력변동 및 잉여전력을 활용한 P2X방식 섹터커플링 기술이 주목받고 있다.

77) 대한민국 특허청, “전력계통에서의 주파수 제어 시스템”, 2015.10.30

<표 3-11> 에너지 저장장치의 종류

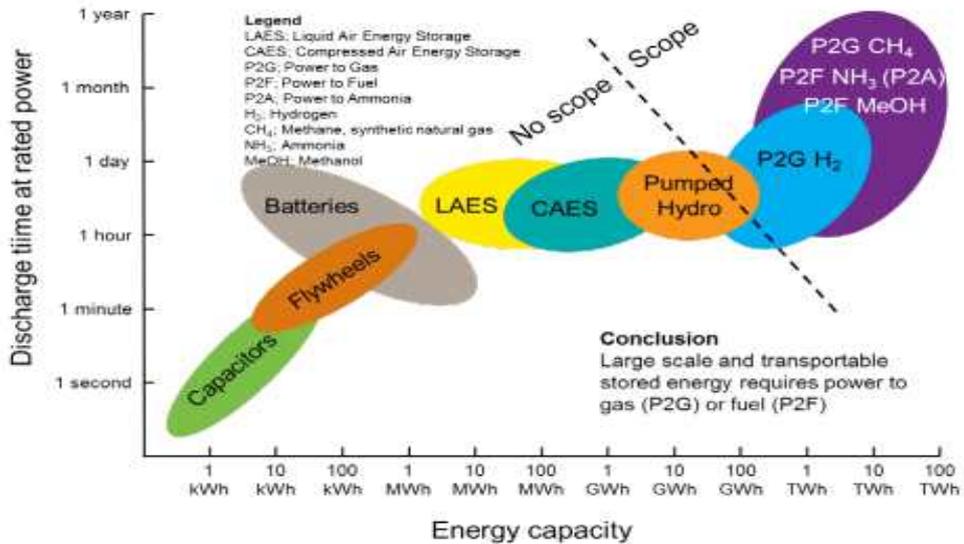
기술분류	세부 기술	기술 설명
물리적 저장	양수발전	전력소비가 적은 밤 시간에 잉여전력을 이용하여 높은 곳의 저수지로 물을 퍼 올려 저장한 후 낮 시간에 물을 낙하시켜 발전하는 기술
	압축공기저장	잉여전력을 이용, 공기를 압축하여 암반, 폐갱도, 터널 등에 저장하는 기술로, 필요 시 저장한 압축공기를 가열 및 팽창시켜 터빈을 운전하여 발전하는 기술
	플라이 휠	로터를 빠르게 회전시켜 전기에너지를 회전에너지로 저장하고, 필요 시 전기에너지로 변환하는 기술
화학적 저장	리튬이온 전지	리튬이온 이차 전지에 잉여 전기를 저장시키는 기술
	나트륨 황전지	용융 나트륨과 용융 유황을 각각 음극과 양극 활물질을 이용한 이차전지를 사용하는 기술
	레독스 흐름전지	액체 전해질 전기화학 반응에 의해 충·방전이 가능한 이차전지를 사용하는 기술
	납축전지	정극, 부극 및 전해질을 사용한 2차전지로 주로 자동차용 배터리와 산업용 예비전원 용도로 많이 사용됨
전자기적 저장	슈퍼커패시터	전기화학적 전지에 잉여 전기를 저장하는 기술
	초전도 자기에너지저장	극저온에서 대형 초전도 코일을 통하는 직류 전류로 발생하는 자기장에 에너지를 저장하는 기술
열저장	감열저장	열에너지를 저장매체(토양, 물 등)의 온도 변화를 통해 저장하는 기술
	잠열저장	상변화 물질의 상변화에 의해 발생하는 숨은 에너지를 이용하여 에너지를 저장하는 기술
P2X 섹터커플링 기술	P2G기술	전력계통에서 수용할 수 없는 풍력·태양광 등의 출력을이용, 물을 전기분해하여 수소를 생산·활용하거나, 생산된 수소를 이산화탄소와 반응시켜 메탄 등의 연료형태로 저장·이용하는 기술

출처 : 윤성진 (2017)<sup>78)</sup>

[그림 3-27]은 에너지저장기술별 에너지저장용량 및 저장기간을 나타낸 그림이다. P2X방식으로 저장하는 경우 물리적, 화학적, 전기적 저장 방식과 비교하여 에너지 저장용량도 크며, 장기간 에너지를 저장하는데 유리하다. 양수발전(Pumped hydro) 방식의 경우 저장기간과 에너지 저장용량도 크지만 지리적인 제한이 있다. 따라서, 큰 규모의 에너지를 저장하는 방식으로는 P2G, P2F처럼 에너지 형태를 변환하여 저장하는 것이 용량과 기간에서 유리할 것으로 판단된다.

78) 윤성진, “에너지 저장장치 시장 동향 분석 보고서”, 연구성과실용화진흥원, S&T Market Report, VOL.48, 2017.05.

[그림 3-27] 에너지저장기술별 에너지용량(X), 에너지저장기간(Y)

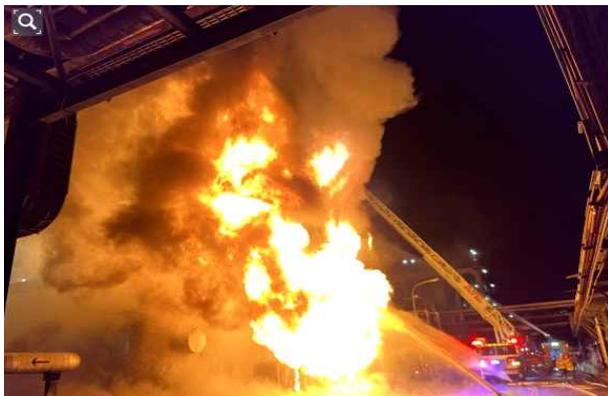


출처 : Institute for Sustainable Process Technology (2017)

다. 에너지 저장장치의 화재

에너지 저장장치의 문제점으로는 저장장치의 비용 및 안정성 문제로 인해 신재생에너지를 이용한 에너지화 설비의 경제성 및 운영에 저해요인으로 작용하고 있다. 산업자원통상부 자료에 따르면 2017년 8월부터 지난해까지 5년간 모두 32건의 ESS 화재가 발생해 466억원의 재산 피해가 보고되었으며 주요 ESS 화재원인은 아래와 같다.

[그림 3-28] 울산 SK에너지 에너지저장장치 화재



출처 : 울산소방본부

[그림 3-29] 한국전력시험센터 ESS 화재 (전북 고창)



출처 : 전북소방본부

(1) ESS 배터리 화재원인<sup>79)80)</sup>

- ▷ 전기적 충격 : 순간적인 고전압과 대전류가 입력을 통해 유입되거나 낙뢰와 같은 서지가 침입할 경우 오류가 발생하여 배터리셀 단락, 지락에 의해 발생될 수 있음.
- ▷ 관리미흡 : 적절한 충전량 범위 이내로 충전하고, 적정온도에서 관리되어야 하지만 관리 소홀로 인한 발생.
- ▷ 필수 보호장치 누락 : 급격하게 유입되는 고압 전기로부터 ESS 설비를 보호하는 배터리와 전력 변환장치(PCS) 사이에 위치하는 서지 어레스트 미장착으로 인해 열폭주\* 현상이 발생함.
  - \* Li-ion 배터리 열폭주 (Cell thermal runaway)현상 : 온도상승이 역학적 과정에 의해 에너지 방출을 증가 시켜 온도상승을 더욱 가속화 시키는 양성 피드백현상 (리튬이온 배터리의 경우 230℃ 이상에서 점화원 없이 자연발화 가능).
- ▷ BMS결함 : 배터리관리시스템 BMS\*의 결함으로 화재.
  - \* BMS(Battery Management system) : 배터리 상태를 모니터링하여 최적의 조건에서 유지, 사용할 수 있도록 하는 시스템

ESS 시스템에서 화재문제가 발생하는 원인의 경우 주로 Li-ion 배터리를 이용한 시스템에서 충·방전시 액체 전해질이 분해되며 가스 등 부산물이 발생하거나, 분리막의 결함으로 인해 화재가 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 리튬이온을 대체할 수 있는 레독스 플로우전지와 전고체전지에 대한 연구가 진행되고 있으나 현재까지 원천기술개발 단계에 머무르고 있어, 상용화까지는 시간이 필요할 것으로 예상된다.<sup>81)82)</sup>

79) ESS 사고원인 조사결과 및 안전강화 대책 발표, 산업자원통상부, 2019.06.11

80) ESS 안전강화 대책 참고자료, 관계부처 합동, 2019.06

81) Energy Storage System Guide for Compliance with Safety Codes and Standards, US Department of energy. 2016.

82) 전력 저장 장치(ESS)최신연구동향, 기계저널 2020. 1., Vol. 60, No. 1

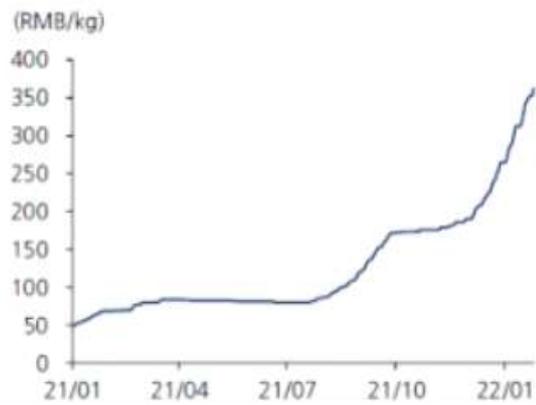
라. 이차전지 및 원자재 수요 증가

[그림 3-30] 글로벌 ESS 리튬이온전지 수요 전망



출처 : SNE 리서치 (2020)

[그림 3-31] 탄산리튬 가격



출처 : 유진투자증권 (2022)

[그림 3-30]은 시장조사 업체 SNE리서치에서 조사한 내용으로 신재생에너지 보급확대에 따라 글로벌 ESS시장은 2018년 11.6Gwh 규모에서 2025년까지 약 86.9Gwh로 연평균 33%성장이 전망된다. 하지만 [그림 3-31]을 보면 ESS수요와 전기차(EV)시장이 커지면서 배터리의 핵심소재인 리튬 수요가 증가하면서 리튬가격이 빠르게 상승하고 있다. 또한 [그림 3-32] SNE 리서치에서 글로벌 리튬이온전지용 양극재 시장수요는 2025년 까지 약 275만톤 증가할 예정이며 연평균 33.3% 상승할 예정이다. 따라서 이차전지를 활용한 ESS시스템 구축에 경제성확보에 어려움이 예상된다.<sup>83)</sup>

[그림 3-32] 글로벌 리튬이차전지용 양극재 시장수요 전망



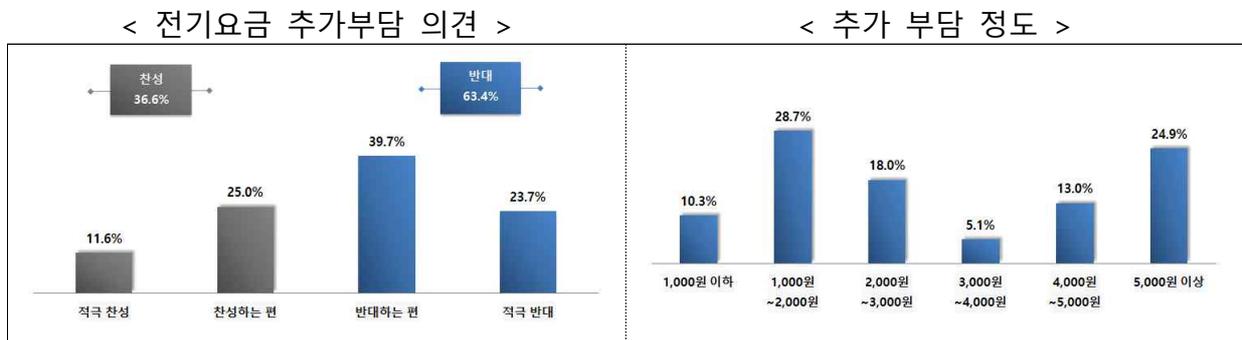
출처 : SNE 리서치 (2020)

83) 2020년 리튬이온 이차전지 양극재 기술동향 및 시장전망 보고서, SNE리서치

## 7. 경제적 타당성

우리나라의 2050 탄소중립 시나리오에 따른 신재생에너지 발전량 목표는 736~890TWh로, 이는 전체 전력 발전량의 61~71% 수준으로 매우 높다. 2050년 기준 태양광은 450GW 내외, 풍력은 50GW 내외 등 총 500GW에 달하는 설비를 추가해야 한다. 이 목표는 2021년 태양광·풍력 설비 용량(17.6GW)과 비슷한 수준의 설비를 30년간 매년 꾸준히 추가 설치해야 하는 매우 도전적인 목표이다.<sup>84)</sup> 더욱이, 재생에너지 확대에 따른 전기요금 상승은 재생에너지 보급 및 확대에 장애 요인으로 작용할 수 있다. 2021년 수행된 전국경제인연합회 여론조사에 따르면, 태양광·풍력 등 신재생에너지 확대를 위한 전기요금 인상에 대해 응답자의 약 63%가 반대한다고 응답하였다.<sup>85)</sup> 추가로, 신재생에너지 확대에 따른 전기요금 인상을 찬성하는 응답자의 약 29%는 1,000~2,000원의 전기요금을 추가로 낼 의향이 있다고 조사되었다.

[그림 3-33] 신재생에너지 확대에 따른 전기요금 인상 설문조사(n=1,091)



출처 : 전국경제인연합회 (2021)

우리나라 현행 전기요금 체계는 신재생에너지 확대를 위한 사회적 비용으로 기후·환경요금이 포함되어 있다. 이는 신재생에너지의무할당제(RPS) 이행비용, 배출권거래제(ETS) 이행비용, 석탄발전 감축비용으로 구성된다.<sup>86)</sup> 2021년 기준 기후·환경요금은 전체 전기요금의 약 5%를 차지하였다. 그러나, 한국전력은 2022년 신재생에너지 확대 정책 등에 따라 해당 요금을 kWh 당 5.3원에서 7.3원으로 약 38% 인상할 계획이다.<sup>87)</sup> 이처럼, 현재 태양광·풍력과 같은 신재생에너지로 전기를 생산하는 비용은 화력발전 등 현행의 전력생산 방식 대비 비용부담이 크기 때문에 신재생에너지로 전환과정에 따른 발전단가 상승이 불가피하다. 따라서, 정부의 신재생에너지 확대 정책과 함께 신재생에너지 기술개발, 발전 및 시장규모의 확대 등을 통해 화석연료 대비 경제성을 갖추기 위한 노력이 필요하다.

국제재생에너지기구(International Renewable Energy Agency, IRENA)에 따르면, 기술의 진보와 규모의 경제, 시장경쟁, 개발 경험의 축적 등으로 국제적으로 신규 재생에너지의 균등화발전비용(levelized cost of electricity, LCOE)이 대체로 지속해서 하락하고 있는 것으로 분석되었다.<sup>88)</sup>

84) 2050년엔 무탄소 사회 목표, 태양광·풍력 3%→60%로, 조선일보(2021)

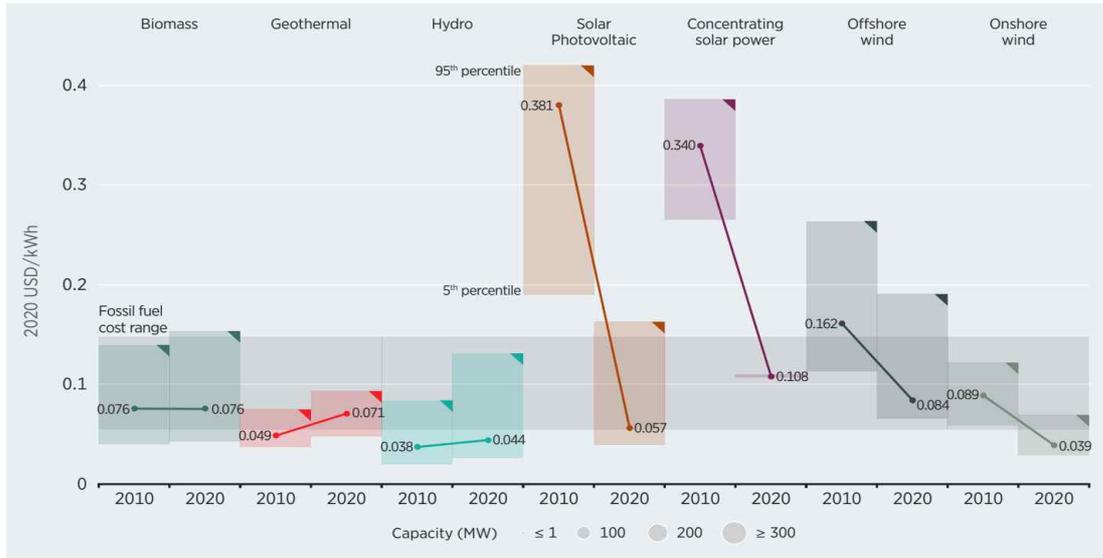
85) 에너지전환정책 대국민 인식 조사 보도자료, 전국경제인연합회(2021)

86) 한국전력공사 홈페이지(<https://cyber.kepco.co.kr/ckepeco/front/jsp/CY/H/C/CYHCHP00211.jsp>)

87) 탄소중립 비용 전기료에 더 반영된다...전기료 계속 오를 듯, 한국경제(2022)

88) Renewabel Power Generation Costs in 2020, IRENA(2021)

[그림 3-34] 유틸리티 규모의 에너지원별 LCOE



출처 : IRENA (2021)

특히, 태양광과 풍력을 중심으로 2010년부터 2020년까지 발전단가 하락이 컸으며, 화석연료(0.055~0.148USD/kWh)와 경쟁 가능한 수준에 도달하였다. 태양광의 경우에는 유틸리티 규모 및 건물(옥상) 태양광이 2010년 42GW에서 2020년 714GW 수준으로 크게 증가하여 발전비용을 감소하는데 기여하였으며, 이에 따라 해당 기간 총 85% 가격하락이 이뤄졌다. 옥상 풍력의 경우에는, 해당 기간에 누적설치용량이 178GW에서 699GW로 증가한 것과 함께 터빈 및 플랜트의 가격하락, 터빈 용량의 증가 등 기술의 발달이 56% 수준의 가격하락을 견인하였다. 운영 중인 석탄 화력 설비 810GW를 전력비용이 낮은 신규의 태양광 및 풍력설비로 대체할 경우 연간 320억 달러가 절감되고 2.97GtCO<sub>2</sub> 규모의 탄소배출 감축이 가능할 것으로 분석되고 있다.<sup>89)</sup>

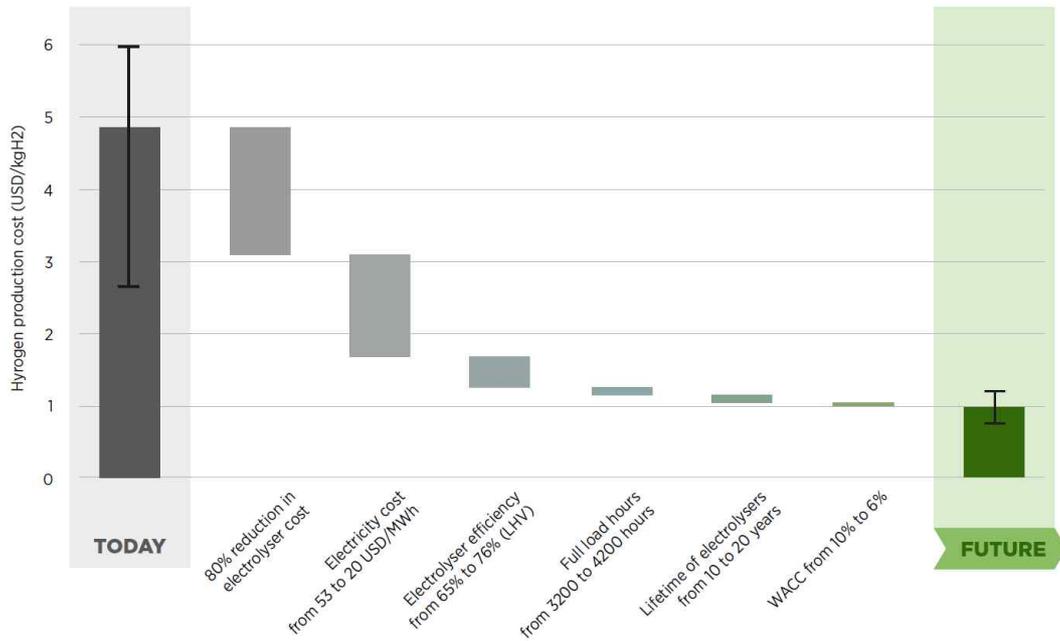
한편, 태양광, 풍력을 포함하여 재생에너지의 발전단가 하락은 친환경적이고 지속가능한 수소생산 가능성에 대한 기대감을 높여주고 있다. 수소는 높은 에너지 밀도를 가지고 있고 연료의 형태로 생산된 전력의 저장이 쉬운 장점이 있어 미래 주요 에너지원으로 주목받고 있다. 그러나, 생산과정에서 높은 수준의 기술력이 필요할 뿐만 아니라 경제성 확보의 어려움 때문에 상용화가 지연되었다. IRENA의 보고서에 따르면, 그린수소<sup>90)</sup> 생산의 경제성 확보를 저해하는 주요 요인은 전해기(Electrolyser) 비용과 재생에너지의 높은 발전단가이다.<sup>91)</sup> 향후 전해기의 비용 절감 및 재생에너지의 발전단가의 지속적 하락으로 2020년 대비 80% 수준의 가격이 낮아져 그린수소의 경제성을 높일 수 있을 것으로 전망된다. 그러나, 전해기 비용이 2020년까지 650~1000USD/kW에서 2050년 130~307USD/kW 수준으로 절감되더라도 그린수소의 경제성을 확보하기는 어려운 것으로 전망되고 있다. 따라서, 경제성 있는 그린수소 생산을 위해서는 재생에너지 경제성 확보가 매우 중요하다고 할 수 있다.

89) 세계 에너지시장 인사이트 제21-14호, 에너지경제연구원(2021)

90) 그린수소(Green Hydrogen)는 태양광 또는 풍력 같은 신재생에너지를 통해 얻은 전기에너지를 물에 가해 수소와 산소를 생산하여, 생산과정에서 이산화탄소 배출이 전혀 없는 친환경 수소를 의미

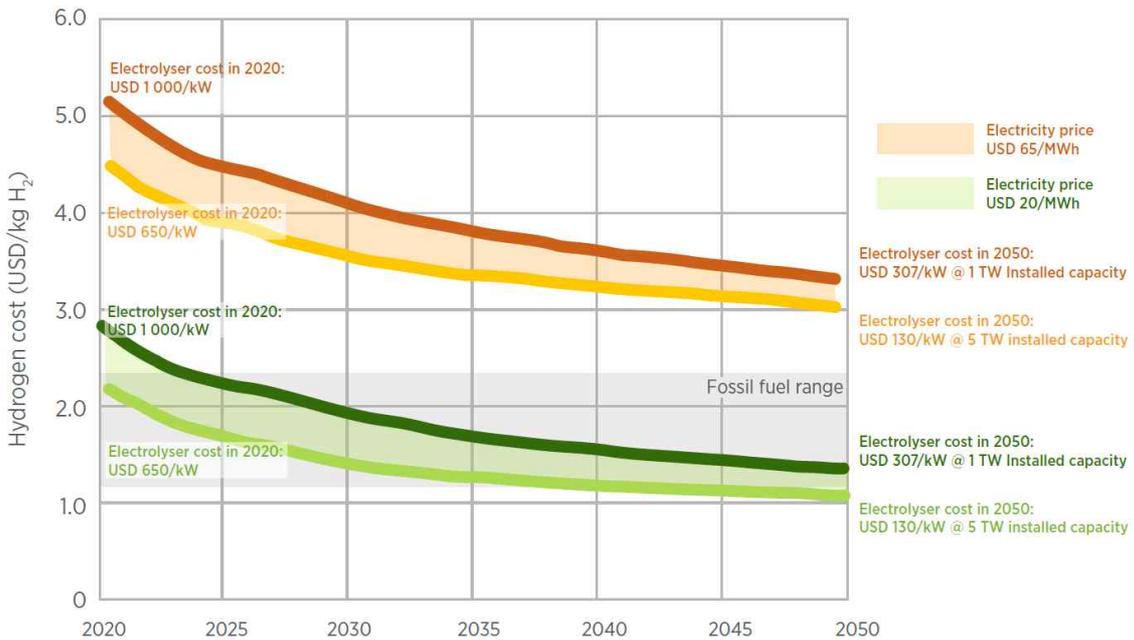
91) Green Hydrogen Cost Reduction, IRENA(2020)

[그림 3-35] 그린수소 생산단가 절감 개요



출처 : IRENA (2021)

[그림 3-36] 전해기 및 전력 비용에 따른 그린수소 생산단가 전망



출처 : IRENA (2021)

전 세계적으로 신재생에너지 발전단가 및 설비비용은 지속해서 하락하고 있다. 그러나, 우리나라는 아직 기존 발전원 대비 신재생에너지의 충분한 가격경쟁력을 확보하지는 못하였다. 하지만, 관련 정책 및 기술개발(R&D) 지원을 통해 신재생에너지 및 수소에너지 활성화 및 경제성을 확보를 위한 노력을 지속하고 있다.

에너지경제연구원에서는 태양광 및 풍력 발전단가 전망치를 발표하였다.<sup>92)</sup> 상기 보고서에 따르면, 우리나라의 대규모(3MW급) 태양광 발전단가는 2020년 기준 111.7원/kWh에서 2030년 71.3원/kWh까지 약 36% 수준으로 감소할 것으로 전망하였다. 풍력(20MW) 발전단가는 2020년 기준 131.6원/kWh에서 2030년 122.7원/kWh 수준까지 약 7%가 감소할 것으로 전망하였다. 수소에너지와 관련하여, 정부는 2019년 수소경제 활성화 로드맵을 제시하였다.<sup>93)</sup> 상기 로드맵에 따르면, 그린수소 공급을 2018년 13만톤 수준에서 2040년 526만톤 이상으로 확대하고, 원활하고 경제적인 수소 유통체계 구축을 위해 수소 가격을 2022년 현재 6,000원/kg 수준에서 2040년 3,000원/kg 이하로 달성하는 것을 목표로 하고 있다. 이는 2022년 누적 1GW 보급 시 규모의 경제를 통한 단가 절감 및 2040년에 현재 설치비 대비 35%, 발전단가 50% 수준 달성을 통해 가능할 것으로 예상된다. 해당 시나리오에 따르면 2025년 중소형 가스터빈 발전단가(190~200원/kWh)와 대등한 수준 도달이 가능할 것으로 전망하고 있다.

향후 에너지의 발전단가 하락을 위한 규모 확대, 기술개발 등의 노력은 지속하여 확대될 것으로 예상하지만, 국내 탄소중립을 위한 주요 발전원으로써 또는 그린수소 생산 및 수소연료전지 확대를 위해서 태양광 및 풍력 발전단가 하락의 노력이 우선되어야 할 것으로 보인다.

92) 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영(1/5), 에너지경제연구원(2020)

93) 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처합동(2019)

## 제 2 절 융·복합 기후기술 패키지 도출과 세부기술 인벤토리

제3장 1절에서 요약된 에너지 부문의 7대 이슈를 해결하기 위해서는 다양한 기술 영역을 물리적·화학적으로 결합하는 융·복합 R&D의 개발 및 적용이 필수적이다. 특히 기후위기는 복잡한 다중위기를 포함하므로 이를 다각적으로 해결할 수 있는 최적의 융·복합 기후기술 패키지를 도출하고 국내·외 실증연구를 통하여 적극 활용해나가는 과정이 필요하다. 전 세계가 기후위기 대응과 탈탄소화를 위하여 신재생에너지 보급을 확대함에 따라서 7대 에너지 이슈 중, 출력 변동성, 전력 수요-공급 불일치, 전력계통 한계 등의 문제가 더욱 증가할 것으로 예상되기 때문에 이에 대한 선제적인 해결방안이 필요하다. 이러한 재생에너지의 간헐성과 전력계통 한계 문제를 해결하기 위한 돌파구로서 많은 선진국들은 다양한 기후기술들을 결합한 하이브리드 방식의 융·복합 발전을 활용하거나 미래 유망기술 패키지로써 ‘P2G(Power-to-Gas)’ 등을 대안으로 고려하고 있다. 현재 미국, 독일, 일본, 프랑스, 영국 등에서는 P2G를 활용한 에너지 그린수소의 생산·저장·수송 등의 실증사업을 활발하게 추진하고 있다. P2G는 잉여 재생에너지 전력을 다른 형태의 연료, 에너지 등으로 저장하려는 P2X(Power-to-X) 방식 중, 에너지가 전환되고 저장되는 형태가 가스인 경우를 통칭하는 것으로 주로 수소 및 메탄가스로 변환하는 사례 연구들이 추진되고 있다. 이와 같은 방식으로 생산된 수소를 그린수소라고 하며, 장기간·대용량·고밀도 에너지 저장이 가능하기 때문에 향후 다양한 분야에서 활용 가능할 것으로 기대되고 있다. 특히 재생에너지 확대와 에너지 효율 향상만으로는 대부분의 국가에서 약 70~90%의 CO<sub>2</sub> 감축만이 가능할 것으로 전망<sup>94</sup>되고 있어 심층 탈탄소화 경로에서 그린수소의 기여도는 더욱 커질 것으로 전망되고 있다. 화학·정유, 철강 산업 및 항공·해운·중화물 수송 등 완전한 전력화가 어려운 부문들은 여전히 빠른 심층 탈탄소화를 위협하는 요소로 남아있는 상황에서, 그린수소를 활용하여 산업공정을 전환하거나(예시 : 수소환원제철 등), 탄소중립연료를 생산하는 방식으로 온실가스 배출을 크게 감축할 수 있는 방안을 모색할 수 있기 때문이다. 특히 독일은 이러한 그린수소의 온실가스 감축 잠재력에 주목하여, 재생에너지 확대와 에너지효율 증대에 이은 에너지전환의 새로운 축으로 격상시켜 보는 시각이 등장하고 있다.

Neben den beiden ersten Säulen der Energiewende – Ausbau der erneuerbaren Energien sowie Erhöhung der Energieeffizienz – können grüner Wasserstoff und seine Folgeprodukte somit die dritte Säule der Energiewende bilden.

→ 에너지전환의 최초 2개 축(재생에너지 확대 및 에너지 효율 향상)과 함께, 그린수소 및 그 파생생성물은 에너지 전환의 세번째 축을 구성한다.

출처 : BMZ (2021)

94) BMZ. (2021). “BMZ-Kernthemenstrategie : ”Verantwortung für unseren Planeten – Klima und Energie“, BMZ Papier 6.

P2G 연구개발과 실증사업은 재생에너지원이 가장 풍부한 유럽을 중심으로 많은 프로젝트들이 추진되고 있으며, 특히 독일에서는 P2G 장기로드맵 수립과 예산 편성 확대 등을 통하여 기술개발을 서두르고 있고, 덴마크에서는 풍부한 풍력에너지를 기반으로 하여 대용량 에너지 저장시스템을 구축하는 목표를 설정하였다. 일본은 에너지 가치사슬을 비화석 기반 에너지, 에너지 네트워크, 수소, 탄소재활용 및 CCUS, 제로 에미션 농림수산업(탄소흡수원 포함) 등 5개 요소로 나누고, 수소를 에너지 공급망에서 핵심적인 역할을 수행하는 것으로 설정하였다. 이와 같은 P2G 기술은 단일 기술이라기보다는 신재생에너지 기술, 전기분해 기술, 메탄화 기술, 저장 기술 등이 결합된 기술패키지에 해당하며, 현재 단계에서는 기존 화석연료를 기반으로 하는 수소 생산 공정보다 비용이 많이 발생하는 단점이 있다. 그러나 연구개발과 실증사업을 통하여 대량생산 기술이 확보될 경우, 생산 공정과 수급전력의 비용 감소를 기대할 수 있기 때문에 향후 가격경쟁력을 점차 갖추어 나갈 것으로 기대된다. 우리나라는 2050 탄소중립 달성을 위해 재생에너지 확대 등 심층 탈탄소화를 추진하고 있으나 전환 부문에 중점을 두어 추진하는 경향이 강했다. 2017년 재생에너지3020 등을 통해 재생에너지를 확대하기 위한 정책적 노력이 경주되었으나, 재생에너지 확대가 야기할 수 있는 간헐성, 수요-공급간 불균형으로 인한 계통 안정성 저하 문제에 대해서는 ESS 적용 위주로 접근하였다. 그러나, ESS는 전력의 장기저장이 어렵고 발화 등으로 인한 안전성 문제가 존재한다. 최근 P2G 기술이 이러한 ESS의 한계에 대한 대안이 될 수 있음을 인식하고 제1차 수소경제 이행 기본계획에서도 P2G의 적용 및 확산을 추진하고 있으나, 아직 이에 대한 구체적인 내용이 제시되지 않은 상태이다. 정책 외적인 부분을 보더라도, 유럽 국가들에 비하여 P2G 연구 및 실증 경험이 부족하고 관련 산업이 활성화되지 않아서 아직 관련 시장이 형성되어있지 않으나, 수년 내 그린수소에 대한 수요가 증가하고 수전해 기술과 재생에너지 발전단가가 하락하게 되면, P2G 시장의 대폭 성장이 예상되므로 이에 대한 신속한 준비가 필요하다. P2G는 주민수용성과 경제적 타당성 측면에서는 일부 개선 및 정책지원 등이 필요하나 그 외의 많은 부분에서는 주요 에너지 문제들에 대해서는 해결방안이 될 것으로 기대된다.

- ▷ P2G는 탄소중립을 위한 에너지 믹스 전략에서 그린수소라는 에너지원의 주요 생산 수단
- ▷ 재생에너지의 간헐성에 따른 전력수급 불안정성을 해소하는 장기저장과 활용 방안
- ▷ 재생에너지의 잉여전력을 그린수소로 전환하여 전력 수요-공급시스템에 유연성 제공
- ▷ 장기저장 및 이송이 용이한 그린수소를 생산하여 다양한 분산형 에너지원으로 활용
- ▷ 기존 에너지 저장장치가 가지고 있는 안정성 및 에너지 손실 문제를 해결

<표 3-12> P2G를 활용한 에너지 부문의 주요 문제 해결

주요 이슈	주요 내용	기후기술 패키지(P2G)를 활용한 문제 해결
에너지 믹스와 전환 손실	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 현재 에너지 믹스의 대부분을 차지하고 있는 화석 연료의 해외수입 의존도</li> <li>· 에너지를 전기화 및 송배전하는 과정에서 발생하는 에너지 전환 손실</li> <li>· 에너지 안보를 위한 다양한 에너지원의 확</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 탄소중립을 위한 에너지 믹스 전략을 위하여 청정수소를 주요 수단으로 활용</li> <li>· P2G는 전기-가스-열 부문을 포함하는 전력-비전력 에너지 통합연계 시스템 활용에 장점</li> </ul>

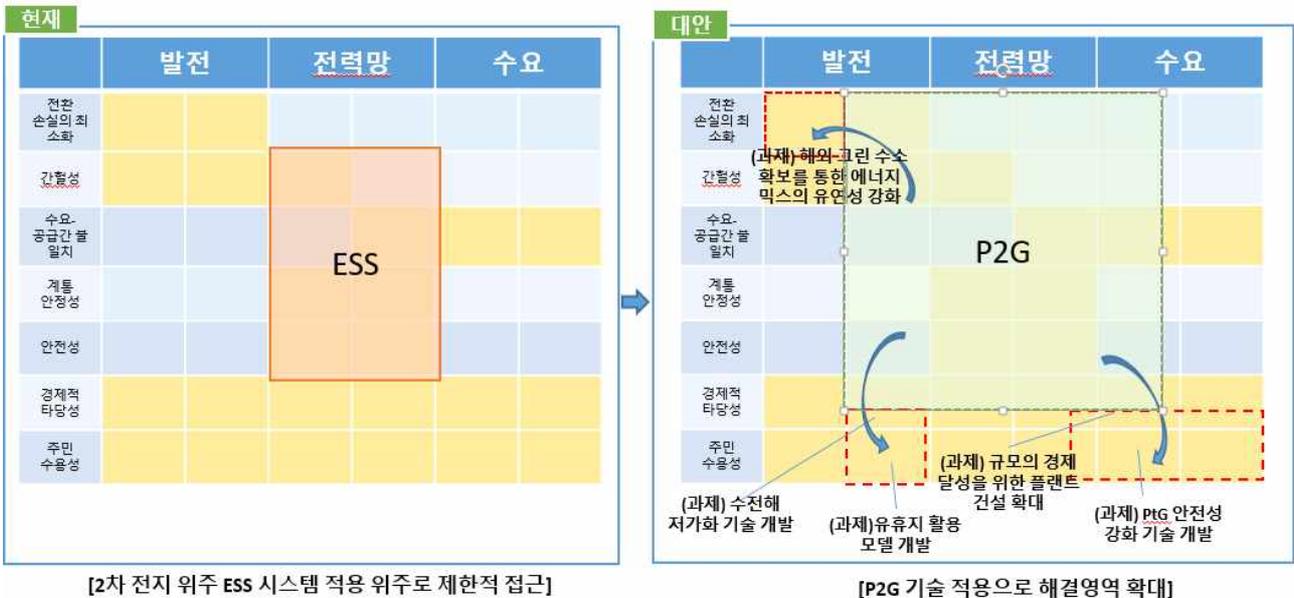
주요 이슈	주요 내용	기후기술 패키지(P2G)를 활용한 문제 해결
	<ul style="list-style-type: none"> <li>보 필요</li> <li>탄소중립 이행을 위하여 신재생에너지원 중심의 에너지 믹스 필요</li> </ul>	
신재생에너지 간헐성	<ul style="list-style-type: none"> <li>신재생에너지(태양광, 풍력)의 특성상 지역, 계절 및 시간에 따라 전력생산량편차와 수급 불안정성 발생</li> <li>에너지 수급의 유연성을 위하여 자원 확보 및 저장 수단 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>신재생에너지의 간헐성에 따른 전력수급 불안정성을 해소하기 위하여 P2G 기반의 그린 수소생산저장 시스템이 적합</li> <li>신재생에너지 잉여전력을 활용한 P2G시스템 적용하고 생산·저장된 수소를 활용한 연료 전지 발전</li> </ul>
전력 수요-공급간 불일치	<ul style="list-style-type: none"> <li>발전 변동성은 발전량 예측과 제어를 어렵게 하므로 수요-공급 간 유기적 연계 기술 필요</li> <li>전력 수요와 공급의 불일치는 전력계통의 안정성 위협</li> <li>신재생에너지 보급 확대에 따라 순부하 변동폭이 커지고 출력 제어 비중도 점차 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>재생에너지의 잉여전력을 그린수소로 전환·저장함으로써 재생에너지 출력제한 및 전압 불안정을 해소하고 계통 유연성 확보</li> <li>P2G와 연료전지시스템 연계를 통해 전력-비전력 수요 요청시, 분산형에너지 시스템을 활용하여 에너지 공급</li> </ul>
전력계통 한계 및 출력제한	<ul style="list-style-type: none"> <li>중앙집중형 수요공급시스템의 송배전 전력망 접속가능 용량 부족 및 설비 확대의 어려움</li> <li>신재생에너지 발전량 증가에 따라 과부하 발생을 방지하기 위한 출력제한 횟수와 제어량 증가 추세</li> <li>재생에너지 발전의 출력제한 횟수 증가에 따른 미발전 손실액 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>P2G에서 생산된 그린수소는 에너지변동성 수용이 제한적인 중앙집중형 전력망을 대신하여 분산형 주요 에너지원으로 활용</li> <li>수소의 장기저장 및 이송이 용이하여 기존의 화석연료 저장·운송 인프라 활용 가능</li> <li>재생에너지 출력제한 및 제어문제 해결</li> </ul>
주민 수용성	<ul style="list-style-type: none"> <li>신재생에너지 설비의 설치에 따른 환경훼손, 생태계 파괴 및 인체위해성 발생 등의 환경적·경제적 피해를 이유로 민원 제기</li> <li>발전 사업에 대한 충분한 사전공지 및 협의 없이 진행함에 따라 절차적 갈등 발생</li> <li>지역 개발 사업에 따른 이익 분배의 형평성 및 보상체계 미흡으로 갈등 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 다중 에너지시스템 및 공공시설을 활용하여 주민 수용성 확보</li> <li>최근, 수소차량 보급 확대로, 수소충전 인프라(수소 스테이션) 요구가 확대</li> </ul>
에너지 저장 장치의 한계 및 안전성	<ul style="list-style-type: none"> <li>ESS 저장장치의 충방전 시 전기적 결함 및 관리 미흡에 따른 화재 발생</li> <li>에너지 출력변동 및 잉여전력 활용을 위하여 점차 에너지 저장용량이 크고 장기 에너지 저장장치에 대한 수요 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 ESS 저장장치의 배터리를 그린수소 및 수소연료전지로 대체함으로써 화재 문제 및 에너지 손실 문제 해결</li> <li>신재생에너지 발전용량이 증가함에 따라 에너지 저장용량 확대가 필요. 배터리시스템과 비교하여 P2G 저장이 장기저장과 대용량 저장에 이점.</li> </ul>
경제적 타당성	<ul style="list-style-type: none"> <li>신재생에너지 전환과정 및 확대에 따른 발전단가 및 전기요금의 상승</li> <li>ESS 수요 및 전기차(EV) 시장 확대에 따라 핵심소재인 리튬 및 양극재 등의 가격이 상승하여 경제성확보에 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 발전원 대비 충분한 가격경쟁력을 확보하기 위하여 규모 확대, 혁신기술개발 및 지원정책 필요</li> <li>스마트에너지 통합관리시스템 및 다중에너지 거래시스템 등을 활용한 비즈니스 모델 도입</li> </ul>

본 연구에서 도출한 ESS 대비 P2G 이슈 연관맵핑(ESS 등 기술 적용 영역 표시 편의상 일부 이슈는 순서 변경) 결과를 살펴보면, 에너지 발전-전력망-수요(소비)의 전 단계별 이슈는 하단 그림의 노란색 부분에 따라 분포하는 것으로 볼 수 있다. 전환 손실의 경우 발전 부문에 주로 연관이 되며, 간헐성은 발전 부문에 연계되지만 전력 계통성 불안정 문제와 연계되기 때문에

전력망과도 일정부분 연관성을 가진다. 수요-공급간 불일치는 전력 계통 및 수요 간의 문제이며, 계통안정성 및 안전성은 전력 계통망에 연계된다. 주민수용성과 경제적 타당성 문제는 대부분의 영역에 적용되는 사안이다.

수소경제가 부상하기 이전까지는 상기 에너지 이슈에 대한 정부 대책은 2차 전지를 활용한 ESS 시스템에 주로 의존하고 있었다. 그러나, 2차 전지의 경우, 단주기의 저장만이 가능하며, 발화 등의 문제가 발생하여 주민 수용성 및 안전성 문제가 끊임없이 지적되고 있다. 발화 문제를 기술적으로 대처하기 위해 전고체 전지 등이 개발되고 있으나, 아직 상용화까지는 시일이 걸리고 경제성 문제에도 대응이 필요한 상황이다. 수소경제는 이러한 ESS 시스템의 대안으로서 부상되고 있다. 신재생에너지 생산이 수요를 초과할 경우 잉여전력을 그린수소 생산에 활용하여 에너지를 저장하고, 역으로 수요가 신재생에너지 공급을 초과할 경우에는 연료전지 등을 통해 전력을 생산하여 별충하는 방식으로 간헐성 문제에 대처가 가능하다. 계통 안정성 및 수요-공급간 불일치 문제도 이 과정에서 일부 완화가 가능하여 2차전지 대비 7대 에너지 이슈에 대한 대응 범위가 넓다. 또한, 풍부한 해외 그린수소 확보, 수전해 기술개발, 유틸리티 활용 모델 개발, 플랜트 건설 확대, 안전성 강화 기술 개발의 과제를 해결한다면, 경제적 타당성, 주민수용성, 간헐성 문제에 대한 대응력을 강화할 여지가 있는 기술 분야이다.

[그림 3-37] 에너지 발전-전력망-소비 전단계별 7대 에너지전환 이슈 연관 맵 및 해결과제



기후위기에 따른 주요 에너지 문제를 해결하기 위하여 그동안 국내에서 추진되었거나 현재 진행중인 융·복합 기후기술 실증사업 중 발전 규모 100kW 이상의 융·복합 발전 사례들에 대하여 4개 그룹으로 분류·정리하였다. 대표적인 국내 융·복합 발전 실증사업 분야는 사업의 주요 형태를 기준으로 에너지 자립섬, 도시 및 마을의 융·복합 발전, 에너지 산업의 융·복합 단지, P2G 사례 등으로 구분하였으나 일부 사례는 사업의 성격이 복합적이었다. 해외 실증 사례의 경우는 본 연구에서 중점적으로 연구한 P2G 및 HyBECCS 기술패키지의 대표적인 실증사업에 한정하여 비교 검토하였다.

## 1. 에너지 문제해결을 위한 국내 융·복합 기후기술 실증사례

### 가. 신재생에너지 분산발전을 활용한 에너지 자립섬 사례

일반적으로 전기에너지를 공급하는 중앙집중식 전력망은 대규모 발전단지에서 송전과 배전 과정을 거쳐 소비자에게 전력을 공급하는 구조이기 때문에 관련 설비 구축을 위해 많은 시간과 초기 투자비가 요구된다. 따라서 소규모 도서지역과 내륙 산간 지방의 전력공급은 지리적, 경제적 여건으로 인하여 기존 방식의 전력망을 구축하는 대신 독립형 마이크로그리드와 같은 소규모 분산형 전력망을 구축하기 위한 에너지 자립섬 사업들이 추진되어왔다. 이와 같은 에너지 자립섬 실증사업들은 전력설비의 경제적, 효율적, 친환경적 발전과 운영을 위하여 다양한 기후기술을 결합한 형태의 융·복합 기술패키지 모델을 채용하고 있다. 특히, 친환경적인 신재생에너지 기반의 분산전원, 에너지저장장치, 에너지관리시스템과 통신 및 제어기술 등을 융·복합화하여 마이크로그리드를 구성하고 있다. [그림 3-37]은 2014년도에 준공된 우리나라 최초의 에너지자립섬인 가사도의 마이크로시스템 구조도 및 배치도이다. 가사도는 기존 디젤 발전으로 생산하던 전력의 약 80%를 풍력과 태양광으로 대체하고 있으며, 에너지저장시스템(ESS)과 에너지관리시스템(EMS)을 활용하여 섬 전체의 에너지를 관리하고 있다. 가사도의 에너지 자립섬 모델의 운영 노하우등을 통하여 국내외에 유사한 마이크로그리드 시스템들이 확대·적용되고 있다.

[그림 3-38] 가사도 마이크로그리드 시스템의 구조 및 배치도



출처 : 한전 마이크로그리드 사업단

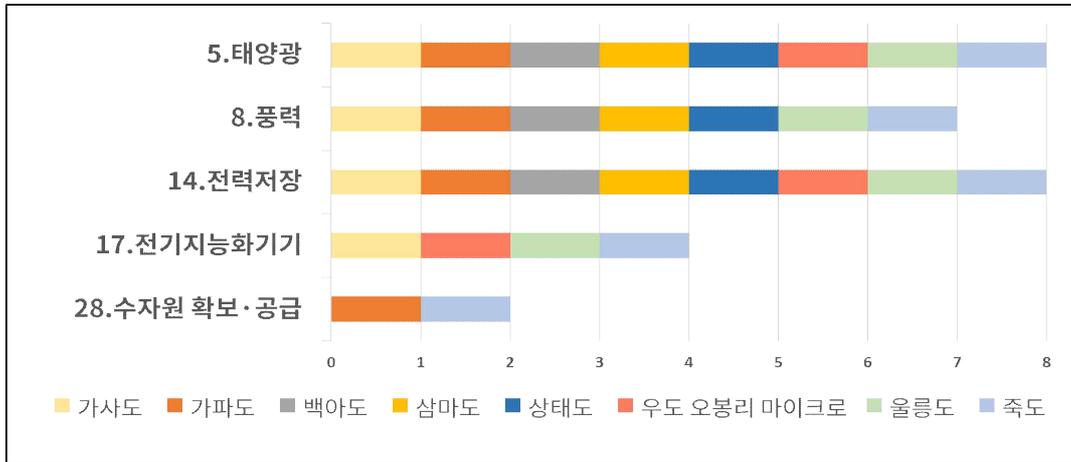
<표 3-13>은 국내 융·복합 발전 실증사업 중, 에너지 자립섬 사업의 주요 사례들을 정리한 것으로 45대 기후기술 분류체계에 포함된 다양한 기후기술들이 적용되었다. 2010년 이후, 에너지 자립섬 사업, 국책실증 연구과제, 친환경 에너지 자립섬 사업, 융·복합기반 신재생에너지 자립섬 구축사업, 녹색에너지 자립섬 조성사업 등이 추진되었다. 에너지 자립섬 사업들 대부분은 각 섬지역에서 활용 가능한 태양광 및 풍력을 신재생에너지원으로 사용되고 있으며, 특히 에너지 간헐성 문제를 극복하기 위하여 전력저장장치가 거의 필수적으로 사용되고 있다.

&lt;표 3-13&gt; 국내 주요 융·복합 발전 실증사업 사례: 에너지 자립섬 사업

사업장 명칭	위치	기후기술 종류	발전규모 (kW)	융·복합 실증사업 주요내용	사업 구분
가파도 에너지 자립섬	제주 서귀포시 가파도	5 태양광 8 풍력 14 전력저장 28 수자원 확보공급 41 신재생에너지 하이브리드	674	태양광발전(174kW), 풍력발전(500kW), ESS(3.86MWh급)를 설치하였고, 전기차 완속 충전기, 해수담수화설비(50kW) 구축. 신재생에너지 생산비율이 약 43%이고 나머지는 디젤 발전기로 충당	에너지자립섬 1~3단계사업('11~'16)
가사도 에너지 자립섬	전남 진도군 가사도	5 태양광 8 풍력 14 전력저장 17 전기지능화기기	691	태양광발전(291kW), 풍력발전(400kW), ESS(3MWh급) 설치 및 EMS를 도입하여 독립형 에너지자립섬 구축	국책실증 연구과제(지식경제부, '13~'15)
울릉도 에너지 자립섬	경북 울릉군 울릉도	4 수력 5 태양광 7 지열 8 풍력 13 연료전지 14 전력저장 17 전기지능화기기	36,560	소수력(0.56MW), 풍력(8MW), 태양광(1MW), ESS(21MWh), 연료전지(23MW), 지열(4MW), EMS(36.5MWh)을 2015년부터 2026년까지 12년간 2,685억 원을 투입하여 구축하는 것으로 추진하였으나 지열발전 추진의 불가능성과 사업경제성 등의 사유로 사업중단	친환경 에너지자립섬 사업('15~'18, 중단)
죽도 에너지 자립섬	충남 홍성군 죽도	5 태양광 8 풍력 14 전력저장 17 전기지능화기기 28 수자원 확보공급	210	태양광발전(200kW), 풍력발전(10kW), ESS(99kWh급) 설치 및 EMS를 도입하여 서해 에너지자립섬 구축	한화-충남 혁신센터
삼마도 에너지 자립섬	전남 해남군 삼마도	5 태양광 8 풍력 14 전력저장	200	호남광역권 선도사업 육성사업(2012)과 융·복합 기반 신재생에너지 자립섬 구축사업(2013)의 일환으로 추진되어 태양광(140kW), 풍력(60kW), ESS(1,280 kWh) 인프라를 구축. 디젤발전기 자동제어 문제 및 신재생에너지 손실률이 30%가 넘어서 개선 필요	융·복합기반 신재생에너지 자립섬 구축사업
백아도 에너지 자립섬	인천시 옹진군 백아도	5 태양광 8 풍력 14 전력저장	290	2014년 신재생에너지 융·복합지원사업을 통하여 풍력발전기 4대(40kW)와 태양광 발전(250kW) 시설 및 ESS(1,125kWh)를 설치하여 에너지 자립섬을 조성하였고 현재 신재생에너지 비율은 전체 전력량의 약 65% 차지. 풍력발전기의 발전 효율이 너무 낮아(평균 1.7%) 이설 사업 추진	에너지공단 신재생에너지 융·복합 지원사업
상태도 에너지 자립섬	전남신안 상태도·중태도	5 태양광 8 풍력 14 전력저장	190	태양광(120kW), 풍력(70kW), ESS(1,200kWh)를 설치하여 에너지 자립섬 조성	녹색에너지 자립섬 조성사업
우도 오봉리 마이크로 그리드	제주 우도	5 태양광 6 태양열 14 전력저장 17 전기지능화기기 18 수송효율화	340	태양광(344kW), 풍력(4kW) 및 사용후 배터리를 재활용하여 261kW의 ESS를 만들어 에너지를 저장하고 전기차 충전소를 만들어 관광객이 이용할 수 있도록 추진. P2P거래가 가능한 마이크로그리드 통합플랫폼 구축 및 운영	산자부 제2차 에너지기술 개발사업

에너지 자립섬 사업의 대표적 사례들에서 활용된 주요 기후기술들의 빈도를 살펴보면, 태양광, 전력저장, 풍력, 전기 지능화기기 등이 높은 기술 활용빈도를 나타내었다. 특히, 신재생에너지 기술 이외에, 에너지 간헐성 문제와 생산된 전력의 효율적 관리를 위하여 ESS 기반의 전력저장 기술과 마이크로그리드 기반의 전기 지능화기술 등이 보편적으로 넓게 활용되었음을 알 수 있다.

[그림 3-39] 에너지 자립섬 실증사업에 활용된 주요 기후기술의 빈도



나. 융·복합 기술을 활용한 도시 및 마을의 신재생에너지 발전 사례

융·복합 기술을 활용하여 주요 도시 및 지자체 마을의 분산 발전 및 에너지 자립을 추구하였던 사업사례들로는 범부처 사업으로 추진되었던 친환경에너지타운 사업이 대표적이며, 그 외에도 산자부의 마이크로그리드 실증기술개발사업, 분산에너지 활성화 추진전략과제, 신재생에너지 융·복합사업 등이 포함된다. 친환경에너지타운 사업은 앞 절에서 언급된 에너지 7대 주요 이슈 중, 주민 수용성 문제 극복과 환경에너지 문제를 동시에 해결하는 것을 주요 목표로 추진되었다. 따라서, 각 사업들은 기후변화에 적극 대응하면서 지역사회의 갈등을 동시에 해소하였던 독일(운데), 오스트리아(뮌헨), 덴마크(삼소섬), 영국(베드제드) 등의 해외 성공사례들을 벤치마킹 모델로 채용하였고 사업제안은 지자체 주민들이 능동적으로 참여하는 상향식 방식을 채용하였다. 이와 같은 과정을 통하여 지역에 적합하면서 경제적 타당성이 높은 신재생에너지 기술을 선정함으로써 지역 에너지 문제를 해결하고 지역사회의 님비 현상 극복 및 경제적 선순환 자립구조를 정착시키고자 하였다. 2014년 5월 시범사업으로 처음 선정되었던 환경부(홍천), 산업부(광주 운정동), 미래부(진천 혁신도시)의 시범사업은 환경과 에너지문제를 동시에 해결한 국내 사업의 성공사례로서 평가받고 있다. 특히, 홍천 친환경에너지타운사업의 경우, 주민들이 주도하여 기피·혐오시설인 하수처리장과 가축분뇨시설 부지를 적극 활용하고 소수력, 태양광 및 바이오에너지를 융·복합 기술로 연계·활용함으로써 환경과 에너지문제를 해결한 대표적인 지자체 전학프로그램으로 자리매김하였다.

[그림 3-40] 홍천 친환경에너지타운 실증사업



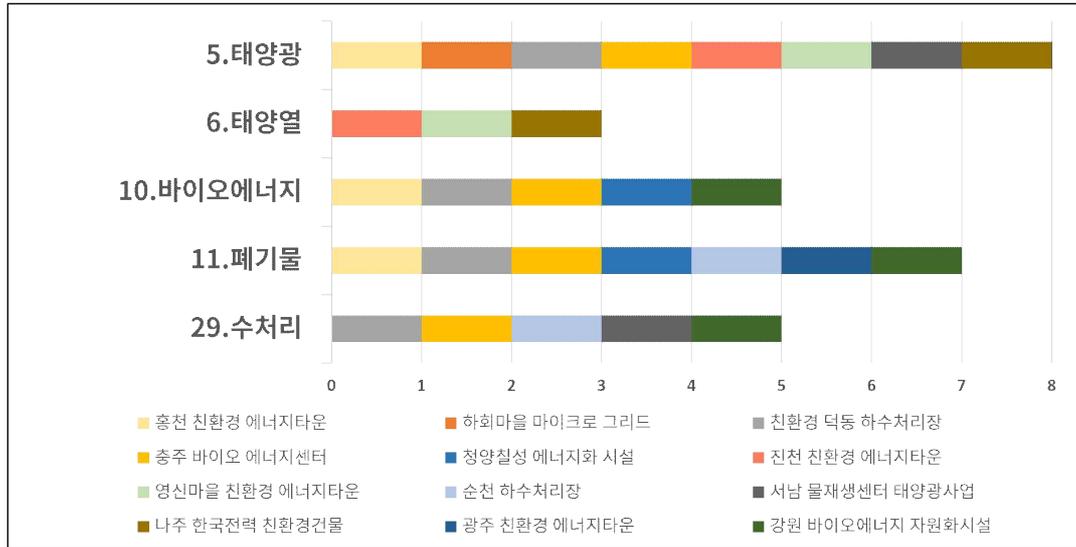
출처 : 환경부 보도자료 (2014)

&lt;표 3-14&gt; 국내 주요 융·복합 발전 실증사업 사례: 도시 및 마을의 융·복합 발전

사업장 명칭	위치	기후기술 종류	발전규모 (kW)	융·복합 실증사업 주요내용	사업 구분
하회마을 마이크로 그리드	경북 안동시	5 태양광 8 풍력 14 전력저장 28 수자원확보·공급 41 신재생하이브리드	348	· 태양광 공용(250kW)과 가정용(3kW x 30세대) 이외에 풍력(4kW), AMI시스템과 EV 충전기가 포함된 마이크로그리드를 구축하고 2024년까지 에너지자립률 50% 달성을 목표	산자부 마이크로그리드 실증기술개발 사업('21~'24)
홍천 친환경 에너지타운	강원도 홍천군	4 수력 5 태양광 10 바이오에너지 11 폐기물	365	· 태양광(340kW), 소수력발전(25kW) 설비 구축과 함께 가축분뇨를 활용한 바이오가스 생산 및 퇴비액 비화시설을 설치하여 바이오가스·퇴비·액비를 생산	친환경에너지 타운 사업
진천 친환경 에너지타운	충북 진천군	5 태양광 6 태양열 7 지열 13 연료전지 20 건축효율화 41 신재생하이브리드	960	· 태양광(950kW), 연료전지발전(10kW)의 신재생 에너지 융·복합화를 추진 · 태양열, 지열, 하수폐열로부터 생산된 열을 저장하여 공급할 수 있는 계간축열조(5,000m <sup>3</sup> )를 구축하여 열에너지 자립 및 가스 사용량 절감	친환경에너지 타운 사업
광주 친환경 에너지타운	광주시 북구	5. 태양광 11. 폐기물	20,000	· 쓰레기 매립지 상부에 태양광발전소 20MW 설비를 구축하고 생산전력을 판매하고 신재생 에너지 체험 빌리지를 조성	친환경에너지 타운 사업
청양칠성 에너지화 시설	충남 청양군	10. 바이오에너지 11. 폐기물	1,300	· 가축분뇨 에너지화 시설에서 생산된 전기와 발전폐열 활용 · 바이오가스는 약 1,958,451m <sup>3</sup> /년 규모, 약 1,300kW, 60~70도의 난방온수를 인근 하우스시설에 공급	친환경에너지 타운 사업
서남 물재생센터 태양광사업	서울시 강서구	5 태양광 29 수처리	3,000	· 서남물재생에너지센터의 상부 유휴공간을 민간기업에 임대하는 형식으로 3MW 규모의 태양광발전을 하고 약 910가구에 약 3,500MWh의 전력 공급	
충주 바이오 에너지센터	충북 충주시	5 태양광 10 바이오에너지 11 폐기물 29 수처리	그린 수소 500kg/일	· 2019년 선정된 산자부 공모사업의 일환으로 2년간 총 사업비 약 124억이 투입됨. · 일일처리 음식물쓰레기 용량 약 60톤을 활용하여 이오가스를 매일 7,500m <sup>3</sup> 생산하고 이를 활용하여 500kg/일 수소 생산 추진 예정 · (국내 첫번째 바이오 수소충전소)	산업부 실증사업 ('19~'21)
강원 바이오에너지 자원화시설	강원도 원주시	5 태양광 10 바이오에너지 11 폐기물 29 수처리	바이오 메탄 14,400 Nm <sup>3</sup> /일	· 약 220톤/일 규모의 유기성 폐기물을 신재생 에너지로 자원화하기 위한 바이오가스 정제시설과 승용차 220대를 충전할 수 있는 바이오 메탄 자동차 연료화 시설을 구축	강원도 유기성폐기물 자원화사업 (~'15)
친환경 덕동 하수처리장	경남 창원시	5 태양광 10 바이오에너지 11 폐기물 29 수처리	청정 수소 3.5t/일	· 현대식공법의 하수처리시설을 통하여 악취발생을 제거하고 침전지 옥상에 2MW급 태양광 발전소를 설치하여 발전사업을 추진. · 하수슬러지 처리과정에서 발생하는 바이오가스는 시내버스 200대에 공급이 가능. · 바이오가스를 활용하여 수소 생산시 3.5t/일 생산이 가능할 것으로 예상	창원시 바이오가스 수소화시설 시범사업 ('21~'24)
순천 하수처리장	전남 순천시	3 청정화력 11 폐기물 29 수처리	570	· 순천하수처리장의 하수슬러지를 바이오가스(메탄)와 석탄 보조연료로 전환하는 에너지절약형 열병합발전소(570kW급)를 착공. · 생산된 전력은 하수처리장 운영에 필요한 자체 전력으로 21%를 충당하고 발생된 폐열은 회수하여 재이용함으로써 에너지낭비를 최소화	순천시 소화가스 열병합발전 시설공사 ('08~'10)
영신마을 친환경 에너지타운	경남 하동군	5 태양광 6 태양열	3,000	· 축산오폐수와 악취의 발생원인인 폐축사를 철거하고 3MW급 태양광 발전시설을 설치하여 연간 4,200MWh 전력을 생산 및 판매하고, 영신마을 일반주택들에도 태양광, 태양열 설비를 설치	산업부 분산에너지 활성화 추진전략과제
나주 한국전력 친환경건물	전남 나주	5 태양광 6 태양열 7 지열 8 풍력	6,750	· 나주 혁신도시에 KEPCO형 스마트 에너지시티 조성을 위하여 스마트시티 인프라 구축 및 통합운영 플랫폼 실증을 추진. · 태양광(1,865kW), 태양열, BIPV, 지열하이브리드 시스템(4,945kW), 풍력(9kW) 등 신재생에너지 하이브리드 시스템과 BEMS 건물에너지관리시스템을 구축하여 에너지 자립률 42%를 달성하였고, 친환경 건축물 인증제도인 LEED 인증에서 Platinum 등급 획득	에너지공단 신재생에너지 융·복합사업, 민관협업사업

융·복합 기후기술들을 활용한 국내 도시 및 마을의 실증사업 사례들에서는 [그림 3-40]과 같이 태양광, 폐기물, 바이오에너지, 수처리 기술 등의 순서로 높은 활용빈도를 나타내었다. 이러한 현상은 도시 및 마을의 환경과 에너지 자립을 위하여 주요 인프라 시설 기반의 융·복합 에너지를 적극 활용하고 있으며, 특히 바이오매스에 대한 활용도가 높음을 파악할 수 있다.

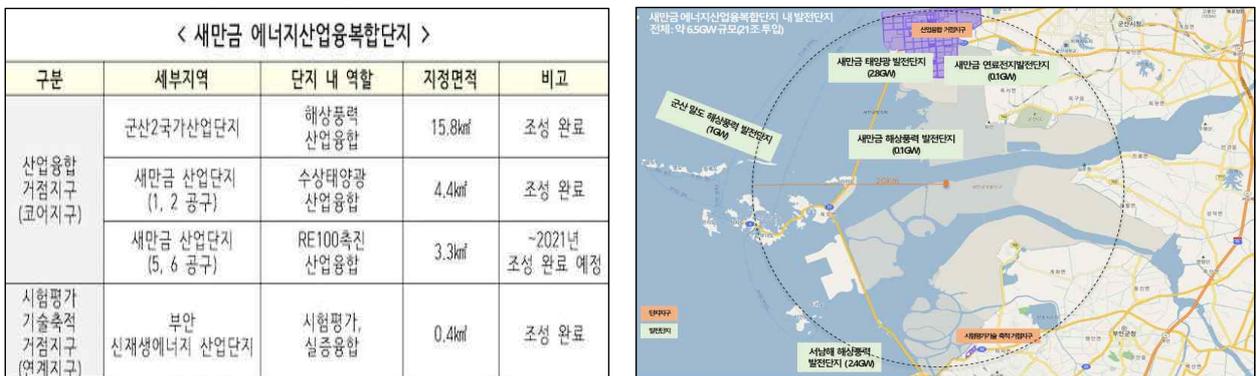
[그림 3-41] 국내 친환경 도시 및 마을의 융·복합 실증사업에 활용된 주요 기후기술의 빈도



다. 산업 지원을 위한 에너지 융·복합 단지 사례

국가 대단위 산업단지 및 에너지 관련 산업의 활성화 지원 등을 위하여 융·복합 기후기술의 실증사업들이 추진되었으며 대표적인 관련 사업은 ‘에너지산업 융·복합 단지 지정 사업’이다. 에너지산업 융·복합단지는 에너지산업과 에너지 연관 산업의 집적 및 융·복합을 촉진하기 위하여 조성된 지역으로서 「에너지산업 융·복합 단지의 지정 및 육성에 관한 특별법」 제8-9조에 따라 지정되는 구역의 의미이다. 이와 같은 융·복합단지는 국가적 육성이 필요한 에너지 중점산업 분야의 산·학·연 협력 네트워크를 구성하여 기술혁신과 융·복합의 거점이 되는 클러스터이다. 최근에는 글로벌 탄소중립 이행을 위한 에너지전환을 목표로 신재생에너지 기반의 융·복합단지들이 구축되고 있으며, 지역의 자연환경 및 산업 여건을 고려하여 산·학·연 집적 활성화 및 관련 인프라 구축을 추진하고 있다.

[그림 3-42] 새만금 에너지산업 융·복합 단지 내 발전단지 개요



출처 : 산업통상자원부 보도자료 (2022)

<표 3-15>의 에너지 산업의 융·복합단지 실증사례 중, 새만금 에너지산업 융·복합단지는 에너지산업 융·복합단지 특별법에 따라 '19년 11월 광주·전남과 함께 최초로 지정된 대표적인 실증사업이다. 2022년 3월 21일 새만금 산업단지 제2공구에서 종합지원센터 착공식이 개최되었으며, 수상태양광과 해상풍력의 클러스터로서 향후 21조를 투입하여 발전 단지내 약 6.5GW 규모의 신재생에너지 발전단지를 구축하는 것을 목표로 하고 있다.

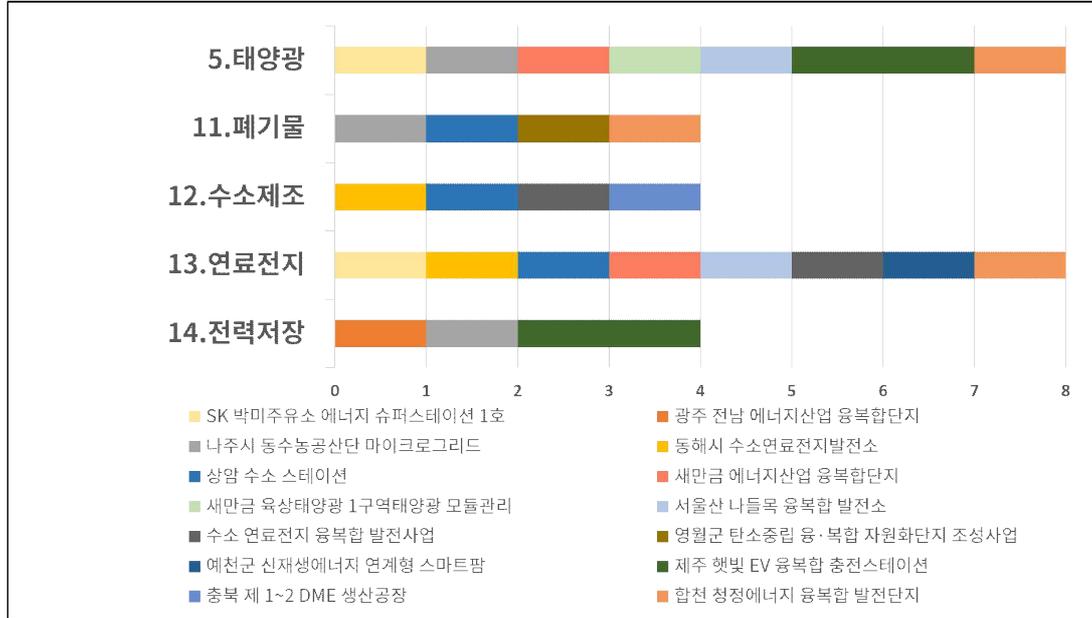
<표 3-15> 국내 주요 융·복합 발전 실증사업 사례: 에너지 산업의 융·복합 단지

사업장 명칭	위치	기후기술 종류	발전규모 (kW)	융·복합 실증사업 주요내용	사업 구분
새만금 에너지산업 융·복합단지	전북 군산 새만금	5 태양광 8 풍력 13 연료전지	6,500,000	· 새만금 에너지산업 융·복합단지내 발전단지로서 약 6.5GW규모 21조 투입 예정. · 새만금 태양광 발전단지(2.8GW), 새만금 해상풍력 발전단지(0.1GW), 새만금 연료전지발전단지(0.1GW), 군산 말도 해상풍력 발전단지(1GW), 서남해 해상풍력 발전단지(2.4GW) 구축 예정	에너지산업 융·복합단지 지정
새만금 육상태양광 1구역태양광 모듈 관리	전북 군산 새만금	5 태양광 45 기타 (스마트 드론)	90,000	· 새만금 34만평 부지에 총 99MW 규모의 국내 최대 육상 태양광 모듈의 시공과 유지관리에 열화상 카메라 드론을 처음으로 적용하여 고장이 의심되는 모듈을 신속히 파악	새만금 육상태양광 1구역 발전사업 ('19~'21)
광주 전남 에너지산업 융·복합단지	광주 전남 혁신도시	8 풍력 14 전력저장 46 송배전 시스템	8,200,000	· 스마트그리드는 전력생산-소비-거래 밸류체인을 구축하고 분산전원 혁신융합 기술을 개발실증. · 에너지효율 향상 산업은 차세대 ESS 산업생태계 조성 및 에너지 데이터 기반 AI 플랫폼 구축 및 신서비스 창출. · 풍력산업은 신안지역에 8.2GW 해상풍력 클러스터 구축하고 ESS, 전력 송배전, 수소 등 관련 산업과의 융복합 추진	에너지산업 융·복합 단지 지정
제주 햇빛 EV 융·복합 충전스테이션	제주 애월읍	5 태양광 14 전력저장 18 수송효율화	120	· 전기버스 6대가 동시에 충전가능한 태양광 발전설비(120kW), ESS(665kWh) 및 급속충전기 3기	전기차 충전서비스 육성사업
제주 햇빛 EV 융·복합 충전스테이션	제주 서귀포	5 태양광 14 전력저장 18 수송효율화	100	· 전기차 최대 16대가 동시 충전가능한 태양광 발전설비(100kW), ESS(998kWh) 및 충전기 10기 구축	전기차 충전서비스 육성사업
합천 청정에너지 융·복합 발전단지	경남 합천	3 청정화력 발전효율화 5 태양광 11 폐기물 13 연료전지	668,000	· 태양광 88mW, 수소연료전지 80MW 및 천연가스 500MW의 융·복합 발전시설 조성. 온배수 열을 활용한 친환경 농업(스마트 팜 등) 추진. · LNG 발전에 대하여 환경단체에서 반대	주민참여형 태양광발전 사업
예천군 신재생에너지 연계형 스마트팜	경북 예천군	13 연료전지, 24 작물재배 &생산	39,600	· 예천군은 2021년 8월부터 신재생에너지 연계형 스마트팜 조성 용역을 추진중이며, 2022년 하반기부터 사업비 300여억원 규모로 2023년 지역특화형 임대형 스마트팜 사업을 추진하여 2025년까지 15ha 규모의 대규모 스마트팜을 준공할 계획. · 이와 함께 스마트팜의 에너지 공급을 위하여 2025년 8월까지 2560억원의 사업비를 투입하여 청정 수소 연료전지(39.6MW) 발전소를 설립할 예정임	KEPCO형 스마트 에너지시티
수소 연료전지 융·복합 발전사업	충북 음성	12 수소제조 13 연료전지	200,000	· 시간당 전기생산량 200MW 규모의 수소연료전지 발전사업을 포함한 수소 비즈니스 모델 발굴. · 연간 약 50만 가구가 1년간 사용할 수 있는 1,700GWh 전기 생산	산자부 에너지산업 융·복합단지 내 연료전지 발전사업 ('21~'24)

서울산 나들목 융복합 발전소	울산시 울주군	5 태양광, 13 연료전지	8,700	<ul style="list-style-type: none"> <li>경부고속도로 서울산 나들목 인근 유희부지를 활용하여 연료전지(8.1MW), 태양광(0.6MW) 발전설비를 설치하는 신재생에너지 융복합 발전소.</li> <li>한국동서발전이 한국도로공사와 함께 사업 추진하며, SOC형 연료전지 발전사업으로 진행</li> </ul>	울주 햇빛상생 발전사업
동해시 수소연료전 지발전소	강원도 동해시	12 수소제조, 13 연료전지	15,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>천연가스에서 추출한 수소를 활용하여 연료전지 발전을 하며, 15mW 규모의 전력을 생산하여 동해시 전역 5만여 가구에 전력 공급</li> </ul>	동서발전 동해바이오 화력본부
상암 수소 스테이션	서울시 마포구	11 폐기물, 12 수소제조 14 연료전지	청정수소 160kg/일	<ul style="list-style-type: none"> <li>2011년 5월 준공된 상암 수소스테이션에서는 상암동 쓰레기매립지의 매립가스(메탄)를 개질하여 수소가스를 약 30Nm<sup>3</sup>/h (수소차 30대 충전 규모) 하고 10kW 규모의 연료전지발전 설비 2기를 구축 운용</li> </ul>	서울시 수소 스테이션 프로젝트 (’09~’11)
충북 제1~2 DME 생산공장	충북 보은	12 수소제조 21 CCUS	DME- 청정수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>화석연료로부터 수소를 제조할 때 발생하는 이산화탄소를 포집하여 메탄올이나 DME(Dimethyl Ether)로 전환하는 플랜트사업.</li> <li>제 1 DME 생산공장에서는 연 5,000톤 규모로 생산된 DME는 에어로졸, 냉매 등 화학시장에 보급하고있음.</li> <li>제2 DME 생산공장은 충북 단양 성신양회 시멘트 제조공정의 킬른로에서 배출되는 이산화탄소를 포집하여 메탄올로 전환하고, 이를 다시 연간 10,000톤 규모의 DME로 전환생산 예정이며 2023년 상반기에 준공 예정</li> </ul>	충북 보은군 -㈜바이오 프랜즈 투자협약
나주시 동수농공산단 마이크로 그리드	전남 나주시	3 청정화력 발전효율화 5 태양광, 11 폐기물, 14 전력저장 29 수처리	700	<ul style="list-style-type: none"> <li>농공산단을 대상으로 마이크로그리드를 구축하고 표준화 및 BM 도출.</li> <li>태양광(600kW), CHP(100kW), ESS(1,500kWh)를 구축하고 지중화 DC Grid와 상황실 설치</li> </ul>	에너지기술 평가원 에너지기술 개발사업 (’12.9~’19.4)
SK 박미주유소 에너지 슈퍼스테이션 1호	서울시 금천구	5 태양광, 13 연료전지	321	<ul style="list-style-type: none"> <li>주유소 기반의 분산전원을 통해 생산된 친환경 전기를 활용.</li> <li>300kW급 연료전지(SOFC)와 태양광(20.6kW) 발전설비를 통해 친환경 전기를 생산하고 향후 법령이 정비되면, 생산된 전기를 초급속/급속 전기차 충전기2기(350.100kW)에 공급할 예정</li> </ul>	산업부 분산에너지 활성화 추진전략 과제
영월군 탄소중립 융·복합 자원화단지 조성사업	강원도 영월군	11 폐기물, 21 CCUS	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>2022년부터 2025년까지 국비 75억원을 포함 총 150억을 투입하여 탄소중립 융복합 자원화단지를 조성하는 것을 목표로 함.</li> <li>특히 강원도, 강원테크노파크, 한국에너지기술연구원 등이 협업하여 포집액화 유틸리티 생산설비, 폐열회수 유닛 등 CCU 기술을 기반으로 한 탄소포집 실증사업을 추진할 예정</li> </ul>	산업부 탄소중립 융·복합 자원화단지 조성사업 (’22~’25)

에너지산업 융·복합단지 실증사업에서 활용 빈도수가 높은 기후기술들은 태양광, 연료전지, 전력 저장 및 수소제조 등이었다. 에너지 자립섬, 도시 및 마을의 융·복합 실증사업과의 주요 차이점은 천연가스 및 수소 가스를 활용한 연료전지가 적극적으로 활용되고 있다는 점이며, 이러한 주요 원인으로서는 대단위 산업단지의 특성상, 생산된 전기뿐만 아니라 연료전지에서 발생하는 열을 효율적으로 이용하여 에너지 손실을 줄일 수 있는 장점이 있기 때문으로 판단된다.

[그림 3-43] 산업단지의 용·복합 에너지 실증사업에 활용된 주요 기후기술의 빈도



#### 라. 신재생에너지 기반의 그린수소 생산과 발전 사례

제2절 도입부에서 언급된 내용과 같이 그동안 국내에서 추진되었던 용·복합 기후기술 실증사업 중, 주요 에너지 문제를 해결하기 위한 주요 대안 중의 하나인 P2G 실증사례는 아래와 같이 별도의 실증 그룹으로 분류하여 검토하였다.

우리나라는 최근 몇 년 전부터 에너지공기업을 중심으로 P2G 실증사업이 추진되기 시작하였으며, 국회 예산정책처에서 2019년도 예산안에 54.1억을 편성하기 시작한 이래, 산업통상자원부의 에너지기술개발사업, 수전해 실증사업 및 에너지기술평가원 그린수소 실증과제 등을 중심으로 P2G를 활용한 그린수소 실증이 추진되고 있다. 산업통상자원부의 P2G 실증사업의 주요 개발 방향은 우선, 2022년까지 국비 140억원을 투입하여 잉여 재생에너지를 활용한 그린수소 생산 관련 국산 기술을 확보하는 것이다. 따라서 초기 주요 실증사업들은 P2G의 수소생산, 수소저장, 가스 메탄화 등의 핵심기술들을 확보하기 위한 사업들로서 2023~2025년 기간 중에 MW급 그린수소 실증플랜트를 구축하는 것을 목표로 하고 있다.

<표 3-16> 국내 주요 용·복합 발전 실증사업 사례: P2G 기반의 그린수소 생산

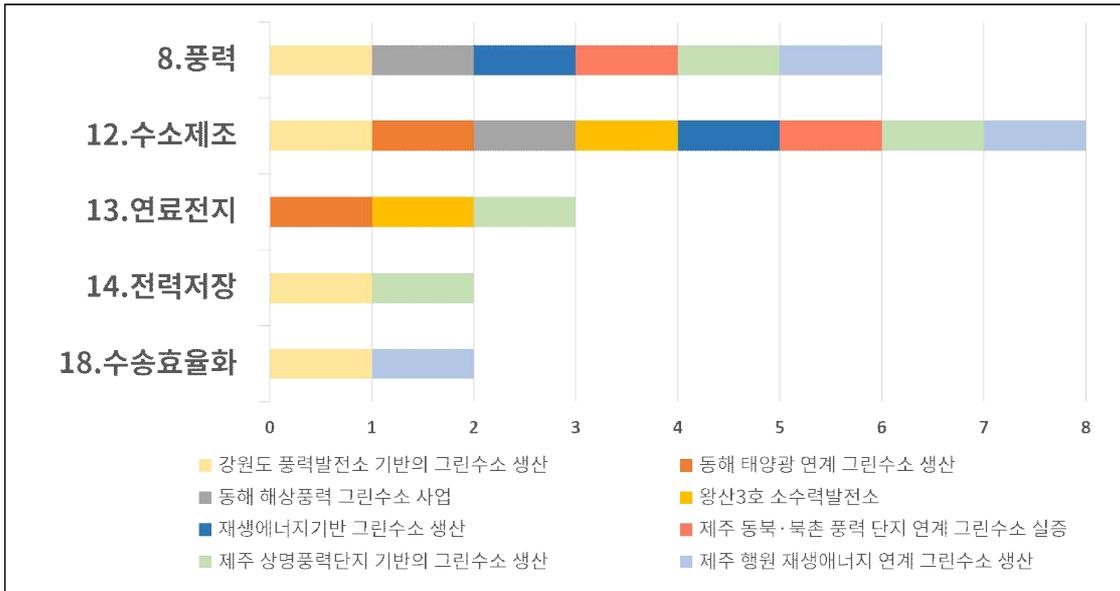
사업장 명칭	위치	기후기술 종류	발전규모 (kW)	용·복합 실증사업 주요내용	사업 구분
제주 상명풍력단지 기반의 그린수소 생산	제주 한림읍	8 풍력 12 수소제조 13 연료전지 14 전력저장	21,000	· 풍력(21MW), ESS(7.32MWh), 미활용 풍력 잉여전력을 활용하여 수전해 그린수소(500kW급) 생산하는 P2G(Power to Gas)사업. · 하이브리드 수소변환 및 10kW급 연료전지시스템 구축	중부발전 실증사업

재생에너지 기반 그린수소 생산	울산시 남구	8 풍력 12 수소제조	100,000	· 부유식 해상풍력 풍력 발전을 연계활용하여 2025년까지 100MW급 그린수소 실증설비를 구축하는 1단계 사업을 추진	현대중공업에서 지자체 및 산학연과 그린수소 생산실증설비 구축 MOU('21~'25)
동해 태양광 연계 수소 생산	강원도 동해시	5 태양광 12 수소제조 13 연료전지	7,400	· 2019년 시작되어 2022년 4월까지 수소 생산과 저장 기술 개발을 마치고 2023년까지 실증 예정. · 태양광(3.2MW)을 기반으로 한 그린수소 생산의 첫 사례. · 4.2MW 규모로 건립되는 SOFC(고체산화물) 연료전지발전설비는 전력공급뿐만 아니라 열도 동시에 공급	한국동서발전 (산자부 에너지기술 개발사업, '19~'22)
동해 해상풍력 그린수소 사업	울산	8 풍력 12 수소제조	6,000,000	· 풍력발전 기반의 2MW급 그린수소 생산 실증사업을 마치고 2035년까지 6GW급 세계 최대 부유식 해상풍력단지와 연계하여 2단계로 2030년까지 1.2GW급 대규모 그린수소 생산플랜트 가동 예정	울산시, 현대중공업 외 7개 기관 및 기업
강원도 풍력발전소 기반의 그린수소 생산	강원도 강평창군	8 풍력, 12 수소제조, 14 전력저장, 18 수송효율화	그린수소 290t/년	· 강원도 평창군 대관령면에 1,488m <sup>3</sup> (약 450평) 규모의 부지에 연간 290톤 규모의 그린수소를 생산할 수 있는 수전해시설과 수소충전소 구축(P2G)하고 2022년 하반기부터 상업운전을 목표로 총 300억원을 투자	강원도 수소산업 생태계경쟁력 강화를 위한 MOU (한국가스기술공사-강원도-한화솔루션 '20~'22)
제주 행원 재생에너지 연계 수소 생산	제주 구좌읍	8 풍력 12 수소제조 18 수송효율화	그린수소 200kg/일	· 풍력발전을 기반으로 3MW급 수전해시스템을 구축하고 매일 200kg 그린수소를 생산하고 수소버스충전소를 구축운영. · 20MWh ESS 와 전기차충전소도 같이 설치	산업부 소규모 수전해 실증사업 ('20~'22)
제주 동북초지 동북단지 그린수소 실증	제주 구좌읍	8 풍력 12 수소제조	10,000	· 풍력발전을 기반으로 10MW급 수전해시스템을 구축하고 연간 1,200톤 그린수소를 생산하고 생산된 수소는 모빌리티 충전소 공급 및 한림빛드림발전소 LNG 연료와 혼합 연소에 활용. · 연구기간은 2022.4~2026.3(48개월)이며 연구비는 정부지원 299억원, 민간부담(한국남부발전) 323억원 등 총 622억원이 소요될 전망이며, 연구개발이 종료된 이후 20년간 사업화 예정	한국 에너지기술 평가원 실증과제 ('22~'26)
왕산3호 소수력발전소	전남 완도군	4 수력, 12 수소제조 13 연료전지	120	· 바닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전을 하고 전력의 일부를 이용하여 그린수소를 생산하여 수소연료전지 발전 추진	출연(연) 기술이전

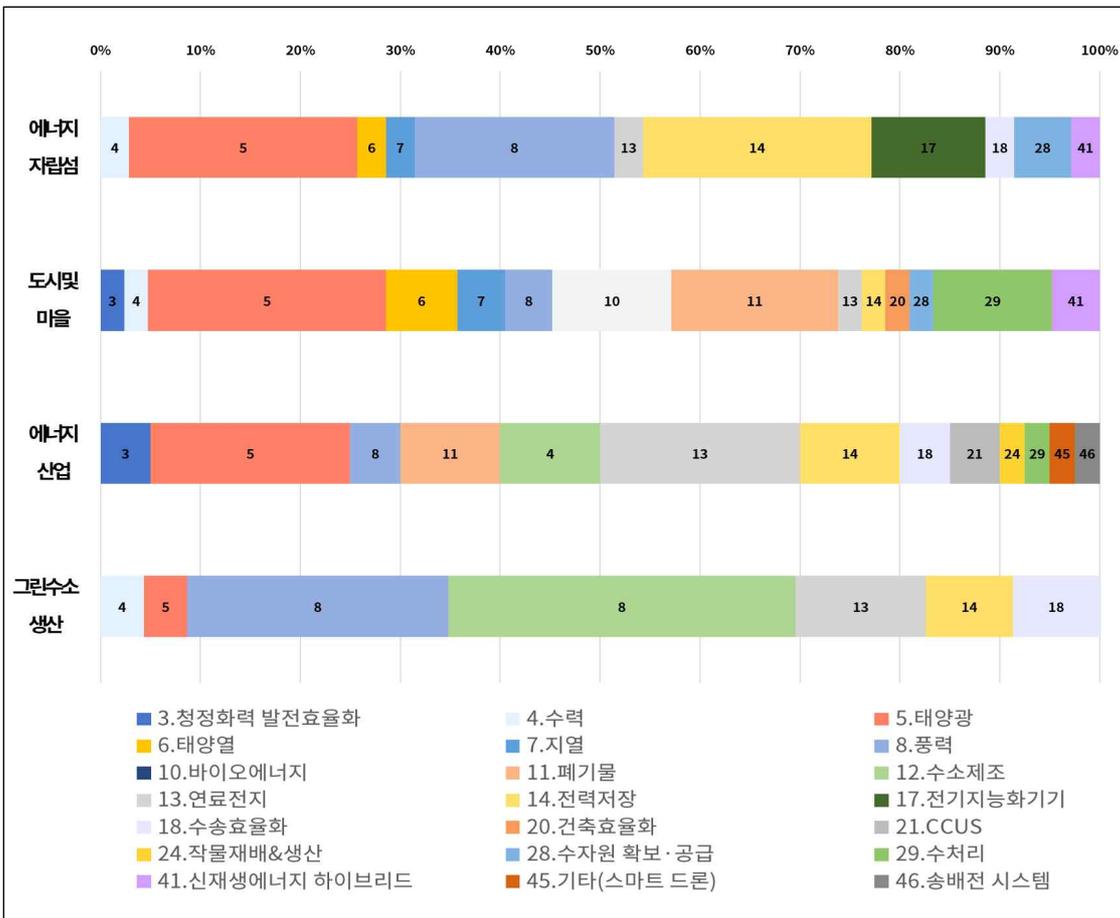
P2G 기반의 그린수소 실증사업은 에너지 자립섬, 도시 및 마을, 에너지 산업 융복합 단지 실증사업 그룹과 달리 실증사업 분야가 신재생에너지 기반의 그린수소로 한정되었기 때문에 활용 빈도수가 높은 기후기술들은 수소제조, 풍력, 연료전지 등의 순서를 나타내었다. 재생에너지 분야는 태양광보다 풍력을 활용하는 실증사례가 대부분이었으며, 생산된 그린수소를 활용한 연료전지 연계 실증사업도 병행하여 추진되고 있다. 따라서 대부분의 P2G 실증 지역은 풍력 조건이 양호한 제주도, 강원도 및 동해안 지역을 중심으로 있었으며, 강원도 동해시에서 2023년까지 국내 최초 태양광 기반 그린수소 실증사업이 추진 중이다.

[그림 3-44]

(a) P2G 기반의 그린수소 실증사업에 활용된 주요 기후기술의 빈도



(b) 국내 주요 융·복합 발전 실증사업 사례별 기후기술 믹스



## 2. 에너지 문제해결을 위한 국외 융·복합 기후기술 실증사례: P2G & HyBECCS

### 가. 프랑스 최초의 산업용 P2G 기술실증단지 - JUPITER1000

<표 3-17> JUPITER1000 실증사례 개요

구분	내용
프로젝트명	· JUPITER1000
개발내용	· (주요 내용) 재생에너지 전력과 근린 공업지대에서 발생하는 CO2를 활용하여 수소 및 메탄 등을 생산하여 가스 공급망에 주입 ※ 알칼리형 수전해, PEM 수전해, 메탄화 시운전 포함
	· (위치) 프랑스 마르세이유 근교 포쉬르메르
수행기간	· 2018년 ~ 2023년
참여기관	· (주관기관) GRTgaz 등 10개 참여 기관/회사
지원기관	· EU 지역개발기금(ERDF), 프랑스 ADEME 및 프로방스-알프스-코트 다쥐르 지방정부
투입예산	· 총 3,000만 유로 <sup>95)</sup>

JUPITER1000은 프랑스에서 최초로 산업용 P2G 기술 실증을 수행하는 프로젝트이다. 프랑스는 전통적으로 원전 중심의 에너지 믹스 운영이 특색이었으나, 2012년 올랑드 대통령 취임 이후 재생에너지 중심 에너지전환을 적극적으로 추진해온 바가 있다. 이 과정에서 재생에너지의 간헐성, 수요와 공급의 불일치 문제와 이에 대비할 수 있는 에너지 저장 기술의 낮은 기술개발 수준에 대한 경각심은 일찍부터 있었던 것으로 파악<sup>96)</sup>되며, 기술적 해결방안으로써 P2G 기술을 주목하였다. 이러한 배경으로 추진된 프랑스 최초의 산업용 P2G 기술 실증 프로젝트가 바로 JUPITER1000이며, 2014년 프로젝트 최초 기획 이후 장기간 동안 실행기관 선정, 착공 과정을 거쳐 2018년부터 본 프로젝트가 공식적으로 출발되었다. 2023년까지 추진<sup>97)</sup>되며, 총 3,000만 유로가 투입될 예정이다. 프랑스에서는 본 프로젝트의 실시에 의해 장래 설비 대형화를 대비한 기술적 표준 등을 확인하는 동시에, 2050년까지 이 P2G 시스템에 의해 매년 12억m<sup>3</sup>(전력환산 15TWh) 이상의 가스 생산을 가능<sup>98)</sup>케 할 것으로 기대하고 있다.

95) Le Figaro. (2016). Premier projet "Power to gas" à Marseille, Publié le 30/03/2016 à 15:02(Retrieved from : <https://www.lefigaro.fr/flash-eco/2016/03/30/97002-20160330FILWWW00220-premier-projet-power-to-gas-a-marseille.php>)

96) Sciences et Avenir. (2022). REPORTAGE. Jupiter 1000, une centrale qui stocke l'électricité renouvelable sous forme d'hydrogène et de méthane, 2022.7.5.(Retrieved from : [https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/petrole-et-gaz/reportage-jupiter-1000-une-centrale-qui-stocke-l-electricite-renouvelable-sous-forme-d-hydrogene-et-de-methane\\_164788](https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/petrole-et-gaz/reportage-jupiter-1000-une-centrale-qui-stocke-l-electricite-renouvelable-sous-forme-d-hydrogene-et-de-methane_164788))

97) GRTgaz. (2022). Jupiter 1000 : Démonstrateur industriel de Power-to-Gas, Presentation Version Aout 2022.

98) 資源エネルギー庁. (2022). 第2回国内メタネーション事業実現タスクフォース 資料3.

[그림 3-45] JUPITER1000 실증사업 현장 전경



출처 : GRTgaz (2022)

상기 실증 프로젝트의 목적은 재생에너지 잉여전력을 활용한 P2G 기술로 수소 및 메탄을 생산하고 이를 천연가스 공급망으로 주입하는 전과정을 테스트하는 과정에 있다. 프로젝트를 총괄하는 기관은 천연가스 공급 사업자인 GRTgaz이며, 이외 각 공정단계-재생에너지 발전 (CNR), 송전망(RTE), 수전해 기술(McPhy), 메탄화(L&L, KHIMOD, CEA), 가스공급망(GRTgaz, Teréga)별로 총 9개 기업 및 기관들이 참여하고 있다. 2022년 5월에는 선박·해운회사인 CMA CGM이 추가로 참여하였다.

<표 3-18> JUPITER1000 실증사업의 주요 참여 기업 개요

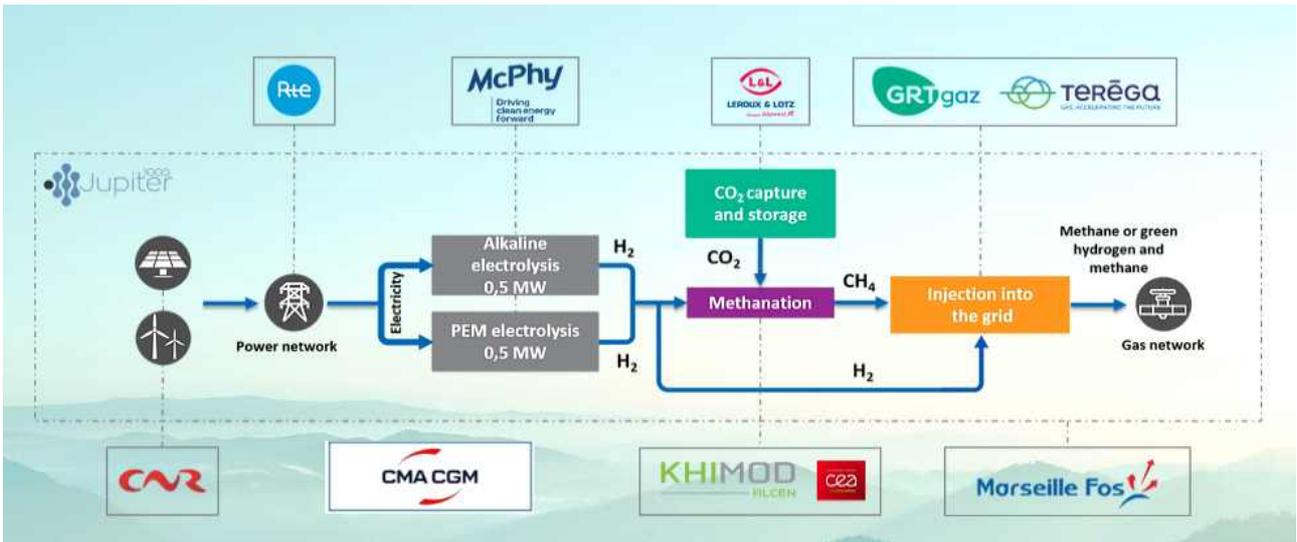
기관/회사명	세부 내용
McPhy	수전해 수소제조 및 수소저장·배송설비를 설계·제조하는 프랑스 기업
LeLoux & Lotz technologies(LLT)	연소·가스화 시스템을 구비한 보일러 시스템 설계 및 공급 기업 본 프로젝트에서는 CO <sub>2</sub> 회수기술을 제공
KHIMOD	에너지, 항공, 국방, 우주 관련 기계설비 기업
CEA	저탄소 에너지 등 분야에 대한 R&D 및 혁신 지원 기관
CNR	신재생에너지 기업
RTE	프랑스 송전사업자
Teréga	프랑스 남서부의 천연가스 공급사업자
CMA CGM	선박컨테이너, 해운회사
Marseille Fos Port	마르세이유 포스항

출처 : JUPITER1000 홈페이지 및 資源エネルギー庁(2022)을 활용하여 연구진 작성

JUPITER1000은 지역 내 제조 산업들과의 시너지 효과를 창출하기 위한 플랫폼인 이노벡스 (Innovex) 플랫폼의 지원을 받고 있으며, 이러한 맥락에서 실증사업 소재지인 마르세이유 포스

항(港) 역시 프로젝트 전반에 관여하고 있는 것으로 보인다.

[그림 3-46] JUPITER1000 실증사업 추진체계



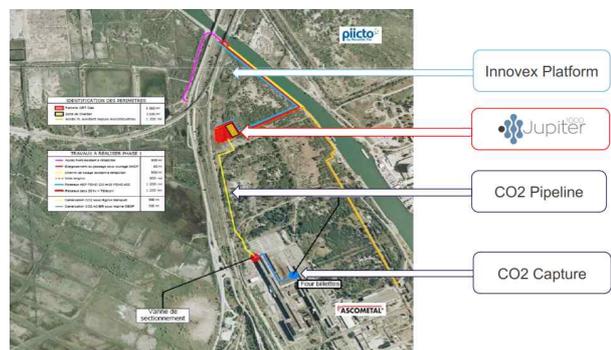
출처 : GRTgaz (2022)

실제 프로젝트 추진 현황을 살펴보면, 지역산업과의 연계가 강하게 나타나는 특색을 가지고 있다. CNR의 마르세이유 항 연안 풍력 발전으로 생산한 전력을 수전해에 활용하고 있으며, 메탄화에 필요한 CO<sub>2</sub>는 주변의 공단에서 발생하는 온실가스를 포집 및 수송하여 Jupiter1000의 실증지로 조달하는 방식으로 수행되고 있기 때문이다. 현재 프로젝트에 CO<sub>2</sub>를 공급하는 주요 공급원인 ASCOMETAL은 제철공장으로, 본 공장에서의 보일러에서 생성된 CO<sub>2</sub>를 회수하여 CO<sub>2</sub> 수송 파이프라인을 거쳐 실증지로 전달하고 있다.

[그림 3-47] JUPITER1000과 지역산업 연계



[그림 3-48] JUPITER1000의 CO<sub>2</sub> 조달 경로

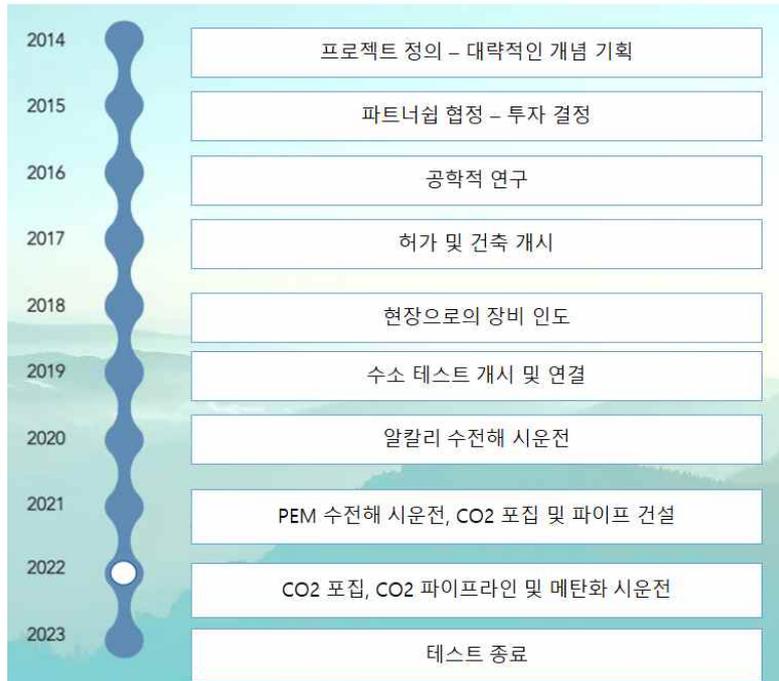


출처 : GRTgaz (2022)

동 프로젝트는 2019년 현재 천연가스 공급망에로의 첫 수소 주입 및 2020년 알카라인 수전해 시운전을 완료한 상태이다. PEM형 수전해, 메탄화 시운전, CO<sub>2</sub> 파이프라인 구축 및 운영을

진행한 후 2023년 종료 예정이다.

[그림 3-49] JUPITER1000 실증사업 추진 일정



출처 : JUPITER1000 홈페이지

나. 독일의 해상풍력 P2G 실증단지 사례: H<sub>2</sub>MARE

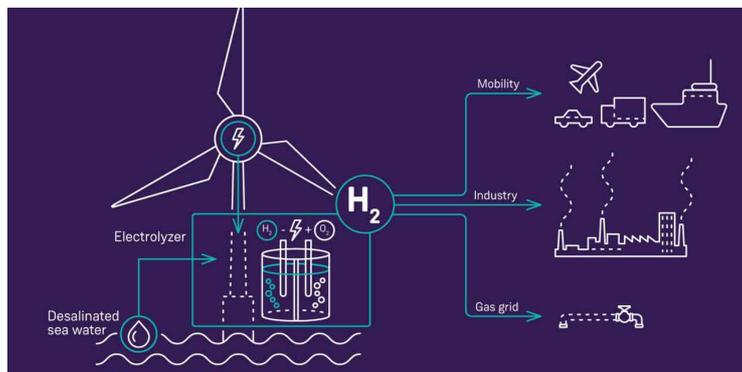
<표 3-19> H<sub>2</sub>MARE 실증사업 개요

구분	내용
프로젝트명	해상에서의 수소생산 (Wasserstoff-Erzeugung auf See(약어명 : H <sub>2</sub> MARE))
개발내용	<p>(주요 내용) 그리드 연계 없이 해상풍력 터빈을 직접 수전해조로 연결하여 그린수소 합성제품(녹색메탄올, 그린암모니아) 생산</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 풍력 터빈과 수전해조의 통합 기술, 원거리 해상에서의 효율적인 수전해, 기타 Power to X 제품의 해상 생산, 인프라 설비 요구 조건 등 안전성/환경성 이슈 대응을 위한 해결책 마련</li> <li>- 고온수전해, 해수수전해, 공기 및 바다로부터의 CO<sub>2</sub>/질소 조달 등 혁신기술 개발 병행</li> </ul> <p>(위치) 독일 연안 내 다수 지역</p>
수행기간	2021년 4월 ~ 2025년 3월
참여기관	Siemens Energie를 주축으로 한 컨소시엄(33개사 이상 참여)
지원기관	독일 연방교육연구부(BMBF)
투입예산	총 100백만 유로(BMBF 지원금) <sup>99)</sup>

독일의 H<sub>2</sub>MARE 프로젝트는 독일연방교육연구부(BMBF)의 ‘수소공화국 독일(Wasserstoffrepublik Deutschland)’ 아이디어 공모전을 통해 선정된 3대 플래그쉽 프로젝트(H<sub>2</sub>GIGA, H<sub>2</sub>MARE, TransHyDE) 중 하나이다. 동 플래그쉽 프로젝트에는 4년간 약 7억 유로의 투자가 예정되어 있으며, 이 중 H<sub>2</sub>MARE 프로젝트는 총 1억 유로가 지원될 예정이다. 동 프로젝트들은 독일의 연간 5GW급 녹색수소 생산 역량 확보라는 동일한 목표를 지향하고 있으나, 프로젝트별 기술 개발 담당역은 상이하다. H<sub>2</sub>GIGA는 녹색수소의 경쟁력 확보를 위한 수전해 기술 개발에, TransHyDE는 생산된 수소의 운송 관련 기술개발에 초점을 두고 있다면, H<sub>2</sub>MARE는 직접적으로 재생에너지(풍력)를 활용하여 그린수소 및 그 파생제품(메탄, 메탄올, 암모니아)을 생산하는 P2G 기술개발을 추진하고 있다.

독일에서는 1개 풍력터빈당 육상에서는 평균 3.5MW의 발전이 가능하지만, 해상에서는 1개 풍력 터빈당 평균 5MW의 발전이 가능<sup>100)</sup>한 것으로 평가되고 있다. 동 프로젝트는 이러한 독일의 높은 해상풍력 발전효율성을 바탕으로 두고 있다. 이에 더해 바로 송전망 연계 없이 직접적으로 풍력터빈을 수전해 장치(Electrolyzer)에 직접 연계하는 방식으로 수소생산 비용을 더욱 저감하는 방향으로 접근하고 있다. 이 접근방식은 송전망과 수전해 장치를 분리함으로써 지역 송전망에 대한 부하가능성을 경감시켜줄 수 있는 이점도 함께 갖추고 있다.

[그림 3-50] H<sub>2</sub>MARE 실증사업 개념도<sup>101)</sup>



출처 : BMBF 홈페이지

동 프로젝트는 OffgridWind, H<sub>2</sub>Wind, PtX-Wind, TransferWind 등 4개의 세부 프로젝트로 구성되어 있다. 세부 프로젝트는 개별 세부기술 단위로 구성되어 있지 않고 다학제 연구 프로젝트의 성격을 가지고 있다. OffgridWind는 수전해 장치와의 통합을 위한 새로운 풍력터빈 개발에 관한 내용이나, 풍력터빈으로 제조된 수소 저장 및 본토로의 수송, 시뮬레이션 및 풍력터빈의 전주기를 포함한다. H<sub>2</sub>Wind는 염분 등이 존재하는 바다 특유의 악조건을 견딜 수 있는 효율적 수전해 장치 개발을 지향하고 있으며, 이의 일환으로 수전해를 위한 수처리 기술 개발에 관한 내용을 포함하고 있다. PtX-Wind는 생산된 그린수소를 기반으로 메탄, 메탄올, 암모니아

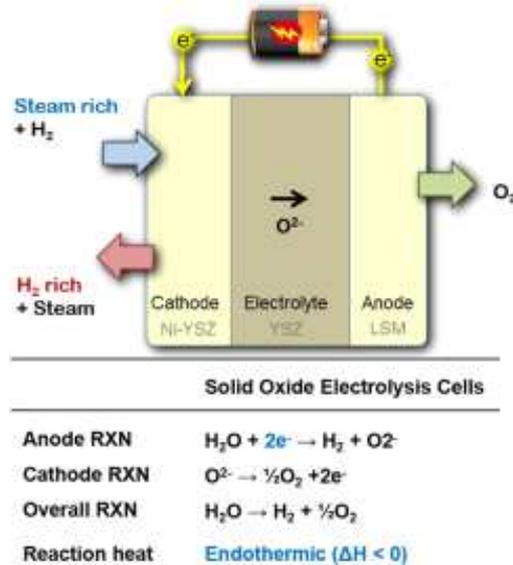
99) <https://energynews.biz/h2mare-gets-e100m-from-bmbf/>

100) BMBF 홈페이지([https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/steckbrief-h2mare.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/steckbrief-h2mare.pdf?__blob=publicationFile&v=1))

101) <https://www.energyprojectstechnology.com/siemens-to-unlock-new-era-of-offshore-green-hydrogen-production/>

등 화학제품 생산을 추진하는 프로젝트로, 고온형 수증기 수전해(Wasserdampfelektrolyse)와 함께 직접해수전해 및 PtX 공정에 필요한 이산화탄소 및 질소를 대기 및 바다로부터 직접 조달하는 방안에 대한 기술개발의 내용을 포괄한다. 고온수증기수전해는 700°C 이상의 과열증기를 전기분해하여 수소를 생산하는 기술로, 기존 저온수전해(60~85°C) 대비 20~30%정도 전기에너지를 절감할 수 있는 장점<sup>102)</sup>이 있다.

[그림 3-51] 고온 수증기 수전해 반응 개념도



출처 : 김선동 (2018)

상기에 서술한 3개 세부 프로젝트(OffgridWind, H<sub>2</sub>Wind, PtX-Wind)는 해상풍력을 활용한 그린수소 생산을 증가시키기 위한 목적 하에 수행되는 기술개발 프로젝트이지만, 각 담당 분야 별로 실제 기술을 적용하여 운영하는 과정에서 소요되는 비용 등을 시뮬레이션 하는 내용의 연구들을 포함하고 있다. 마지막 세부 프로젝트인 TransferWind는 사회과학적 내용을 함께 포괄하는 학제간 연구 프로젝트이다. 동 프로젝트에서는 H<sub>2</sub>MARE의 전반적인 내용을 조감하여 안전성 및 환경 이슈에 관한 대응 및 인프라에서 요구되는 사항에 관해 대응하는 것을 목적으로 하는 프로젝트로, 각 세부 프로젝트의 결과를 종합하여 과학, 비즈니스, 정책 등 다양한 측면에서의 교류를 주관한다.

H<sub>2</sub>MARE 프로젝트는 풍력 이외에도 기계, 해양환경, 화학 등 다양한 분야에 걸친 연구가 수행되고 있기 때문에, 참여기관 역시 다양하다. 동 프로젝트는 Siemens Energy를 중심으로 한 컨소시엄 형태로 구성되어 있으며, 현재 프라운호퍼 풍력에너지시스템연구소(IWES), 헬름홀츠 헤레온 센터, DECHEMA 등 30여개의 연구기관, 협회 및 기업이 파트너로서 참여하고 있다. 관련된 연구는 현재 북해 연안 북부의 지역에서 진행되고 있는 것으로 확인<sup>103)</sup>되고 있다.

102) 김선동. (2018). 고온수전해 수소 제조 연구 동향(수소경제 사회 실현을 위한 지속 가능한 수소 제조 기술). Special Theme 에너지 변환 및 저장소재, 전기 전자와 첨단소재 December 2018 Vol. 31. No.6, 한국전기전자재료학회.

103) TECHNOVA(2022). 水素社会構築技術開発事業 / 総合調査研究 / 革新的水素製造技術等に関する海外研究動向調査 (海水電解技術に関する動向調査). NEDO水素・燃料電池成果報告会2022(2022年7月29日) 発表No.E-13.

[그림 3-52] H<sub>2</sub>MARE 참여기관 구분 및 위치



출처 : Wasserstoff-Leitprojekte 홈페이지

[그림 3-53] H<sub>2</sub>MARE 실증 시행 장소



출처 : TECHNOVA (2022)

다. 영국의 HyBECCS 실증단지 사례: Biohydrogen Greenhouse Gas Removal Demonstration

<표 3-20> Biohydrogen Greenhouse Gas Removal Demonstration 사업 개요

구분	내용
프로젝트명	Biohydrogen Greenhouse Gas Removal Demonstration(Phase 2)/Development of Biomass Gasification Tar Reformation and Ash Removal(Phase 1)
개발내용	(주요 내용) 유기성 폐기물로부터의 합성가스 생산 및 저탄소 수소 전환 실증 플랜트 건축 및 시운전
	(위치) South West
수행기간	2021년 4월 ~ 2025년 3월
참여기관	Advanced Biofuel Solutions Ltd. UCL Chemical Engineering, Progressive Energy
지원기관	BEIS
투입예산	Direct Air Capture and GGR Technology Innovation Programme: £4,750,429.16 <sup>104)</sup> Hydrogen BECCS Innovation Programme : £250,000 <sup>105)</sup>

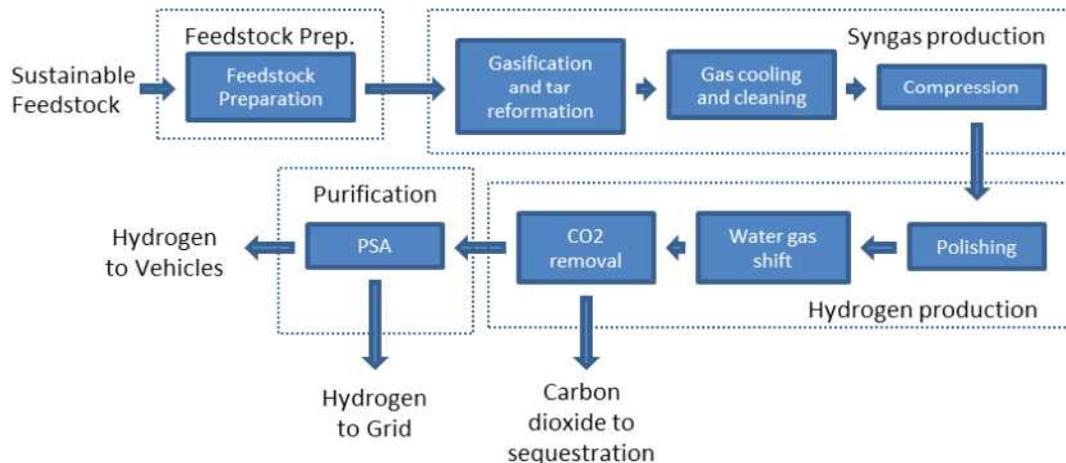
104) <https://www.gov.uk/government/publications/direct-air-capture-and-other-greenhouse-gas-removal-technologies-competition/projects-selected-for-phase-2-of-the-direct-air-capture-and-greenhouse-gas-removal-programme>

105) <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-beccs-innovation-programme-successful-projects/hydrogen-beccs-innovation-programme-phase-1-successful-projects>

영국은 청정에너지 투자로 전 세계 녹색산업혁명을 견인하는 것을 목적으로 한 ‘녹색산업혁명을 위한 10대 중점계획(The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)’<sup>106)</sup>을 발표한 바 있다. 녹색기술 개발 및 혁신을 기후변화 대응을 위한 핵심적인 요소로 보고, 저탄소 기술의 상용화를 가속화하기 위한 10억 파운드 규모의 기금인 넷제로 혁신 포트폴리오(Net Zero Innovation Portfolio)을 설립하였다. 이 기금은 첨단CCUS, 바이오에너지, 직접공기포집 및 온실가스 제거(GGR), 와해성 기술, 에너지 저장 및 유연성, 미래해상풍력, 가정 및 건물, 수소, 산업, 첨단 모듈 원자로(AMRs) 등 10대 분야를 대상으로 진행되고 있다. 이 중 Advanced Biofuel Solutions Ltd.(이하 ABSL) 및 UCL이 추진하고 있는 프로젝트인 바이오수소 온실가스 제거 실증(Biohydrogen Greenhouse Gas Removal Demonstration)프로젝트는, 직접공기포집 및 온실가스 제거 분야에서 지원대상으로 선정되었다. 본 공모는 총 2단계에 걸쳐 시행<sup>107)</sup>되었는데, 1번째 단계에서는 온실가스 제거 과정의 비용 효율성 등의 효용을 검증하며, 두 번째 단계에서는 1단계 프로젝트 중 우수 프로젝트를 선정하는 방식으로 진행되었다. 동 프로젝트는 2단계 공모에서도 선정되어 추진 중이다.

연구개발의 주요 내용은 바이오수소 생산과정에서 CCS를 연계하여 이산화탄소를 포집하여 수소생산과 배출흡수를 동시에 구현하는 것이다. ABSL<sup>108)</sup>은 본래 스윈든(Swindon)에 유기성 폐기물을 바이오메탄으로 전환하는 플랜트를 운영하고 있는 회사이며, 실증 역시 스윈든의 플랜트 시설을 활용한다. 이 프로젝트에서는 가스화 기술(gasification)로 생산된 합성가스(Syngas)를 수성가스전이반응(Water-gas-shift)을 통해 수소를 생산하고, 이 과정에서 생성된 이산화탄소는 CCS 기술로 포집하는 것을 핵심공정으로 두고 있다.

[그림 3-54] Biohydrogen Greenhouse Gas Removal Demonstration의 주요 공정



출처 : ABSL (2021)

106) HM Government. (2020). The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution : Build back better, supporting green jobs, and accelerating our path to net zero.

107) BEIS. (2020). Introduction to the Competition, September 2020.(Retrieved from : <https://han.gl/aVLEb>)

108) 이하 공정 등에 관한 세부 내용은 ABSL et al. (2021). Hydrogen GGR Demonstration Project Project Report, BEIS Direct Air Capture and Greenhouse Gas Removal Technology Innovation Programme.을 내용을 정리하여 작성함.

상기 공정에서 시도되는 접근방식은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 기술성숙도가 높은 기술들이 적용된 기존 수성가스전이반응로( $K_2CO_3$ , 아민, Selexol, Rectisol 등을 활용한  $CO_2$  스크리빙 포함)를 활용하는 방식이다. 두 번째는  $CO_2$  포집과 수성가스 전이가 동시에 발생하는 회수증진수성가스전이(Sorption enhanced water gas shift(SEWGS))를 활용하는 방식이다. 동 기술들은 기존 기술 대비 기술성숙도가 아직 낮은 상태이다. 따라서, 두 접근방식별로 부여된 목표들도 상이하다. 기존 기술을 적용한 첫 번째 접근방식의 경우에는 바이오수소 생산 과정에서 매년 1,000톤의  $CO_2$ 를 포집 목표를 설정하고 있는 반면, SEWGS 기술을 활용한 접근 방식에는 스윈든에 존재하는 SEWGS 파일럿 플랜트의  $CO_2$  포집 역량을 매년 100톤으로 두는 것으로 하고 있다. 아직 기술성숙도가 낮은 기술을 적용하는 특성상 현재 두 번째 기술은 UCL의 주도 하에 랩 스케일 규모로 추진될 예정이다. 동 플랜트들은 2023년 3분기에 시운전을 완료할 예정으로 되어 있다.

바이오수소 생산 및  $CO_2$  포집 기술 개발과 관련하여, ABSL은 넷제로 혁신 포트폴리오의 다른 지원 프로그램의 지원을 함께 받고 있다. 2021년 넷제로 혁신 포트폴리오의 중점 분야 중 하나인 바이오에너지 분야에서 “바이오매스 원료 혁신 프로그램(Biomass Feedstocks Innovation Programme)” 1단계 공모가 진행되었는데, 정확히 바이오수소 생산 및  $CO_2$  포집 기술에 초점을 둔 “수소-BECCS 혁신 프로그램(Hydrogen BECCS Innovation Programme)”이 동 프로그램의 하위 프로그램으로서 함께 공모<sup>109)</sup>가 진행되었다. 동 공모는 원료 전처리(Feedstock pre-processing), 가스화 성분(Gasification Components), 새로운 바이오수소 기술(Novel biohydrogen) 기술<sup>110)</sup> 등 3개 범주로 진행되었다. ABSL은 이 중 가스화 성분 부문 공모에 선정되었으며, 가스화 공정에서 발생하는 타르 개질 및 재 제거(Tar Reformation and Ash Removal)를 위한 기술개발을 지향하고 있다. 동 프로그램을 통해서도 별도로 250,000 파운드를 지원받고 있다.

[그림 3-55] Advanced Biofuel Solution의 바이오 수소 생산 실증 플랜트



출처 : ABSL 홈페이지

109) <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-beccs-innovation-programme>

110) 암발효, 혐기성소화, 폐수처리 등 CCS와 연계될 수 있는 새로운 바이오수소 기술 개발

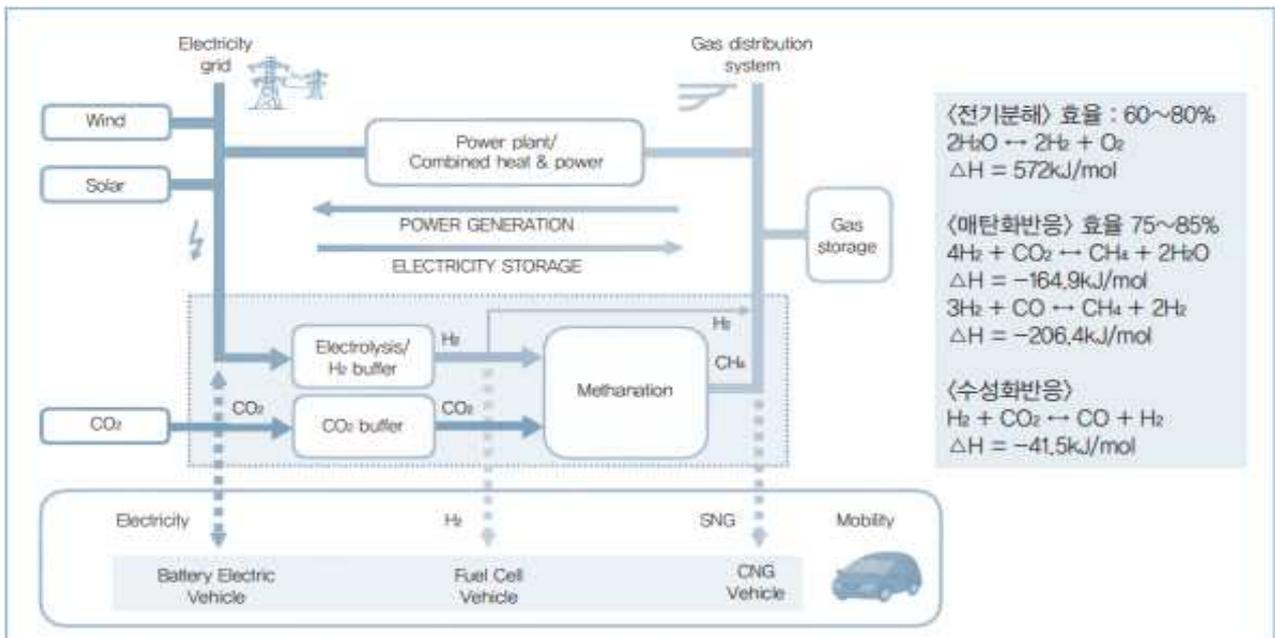
### 3. 에너지 문제해결을 위한 P2G 기술 패키지 및 주요 기술 인벤토리

에너지 문제해결을 위한 국내·외 융·복합 기후기술 실증사례의 내용과 같이 탄소중립과 에너지 자립을 위하여 신재생에너지 공급이 크게 확대되면서 신재생에너지 발전의 한계로 지적된 에너지 간헐성 및 변동성 영향을 최소화하기 위한 융·복합 기후기술의 실증이 다각도로 추진되고 있다. 그러나 현재 대안으로 활용되고 있는 2차 전지 기반의 에너지저장시스템(ESS)만으로는 빠른 속도로 증가되는 에너지저장수요에 모두 대응하기는 어려운 실정이다. 또한 신재생에너지가 미래 기저발전이 될 경우를 가정한다면, 장주기 에너지 저장장치의 확보는 안정적인 에너지 공급을 위하여 매우 중요하다. 에너지 주요 현안을 해결하기 위한 융·복합 기후기술 패키지로 선정된 P2G의 경우, ESS 등 다른 에너지저장장치와 비교하여 장주기 대용량의 에너지를 저장하는데 많은 이점이 있기 때문에 향후 에너지저장 수단 및 전력시스템 변동성의 대응 수단으로 많은 관심을 받고 있다. 따라서, 본 연구에서는 신재생에너지 기반 P2G(Power to Gas) 패키지 기술동향을 파악하고 패키지를 구성하고 있는 핵심기술을 중심으로 기술 인벤토리를 구축하였다.

#### 가. 신재생에너지 기반 Power to Gas 기술패키지 기술동향

P2G 기술이란 태양광 또는 풍력 등 신재생에너지 기반으로 생산된 전기를 이용하여 수소 또는 메탄가스를 생성하고 저장하는 기술이다. P2G 기술의 기본 개념 및 주요 반응식은 아래 [그림 3-55]과 같다.<sup>111)</sup>

[그림 3-56] P2G 기본 개념 및 주요 반응식



출처 : DONG energy (2013)

111) Power to gas 기술개용 및 현황, 고경호, 2014

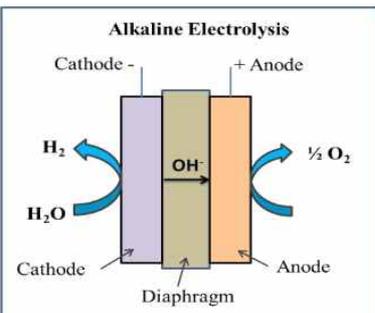
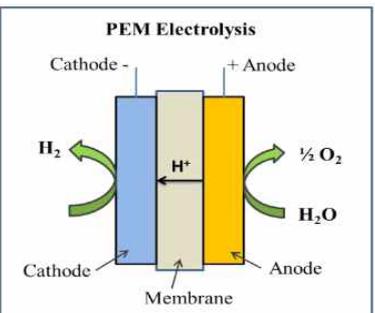
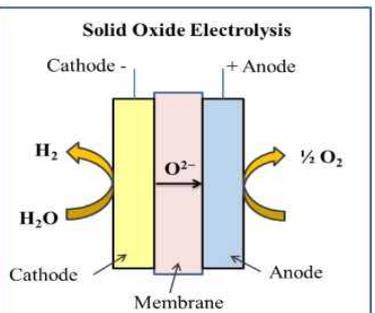
아래 <표 3-21>은 ESS(Energy storage system) 시스템에서 많이 사용되는 Li-ion battery와 본 연구에서 제안하고 있는 P2G 시스템을 비교한 것이다. 아래의 표를 살펴보면, P2G는 전력(신재생에너지기반)을 연료형태(H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>등)으로 전환하여 저장할 수 있는 기술패키지로서 기존 ESS에서 많이 적용되는 배터리방식의 에너지 저장장치와 비교하여 많은 에너지를 저장할 수 있는 장점을 가지고 있다.

<표 3-21> P2G 와 Li-ion battery 비교

구분	P2G	Li-ion Battery	내용
저장형태	전력 -> 연료	전력 -> 전력	CO <sub>2</sub> 재사용(CCS 연계가능)
기능및역할	신재생에너지 출력 안정화 및 송전에따른 에너지손실 및 제약 완화	신재생에너지 출력 안정화 및 예비력 확보	· P2G : 단방향(과잉출력) · 배터리 : 양방향(충방전)
설비용량(MW)	0.01 ~ 1000	0.1 ~ 20	· P2G : 대용량에 이점 · 배터리 : 작은용량 이점
효율	60 ~ 70%	85 ~ 95%	CH <sub>4</sub> 기준

수전해 기술은 물을 전기분해하여 고순도의 그린 수소를 온실가스 배출없이 친환경적으로 제조하는 기술이다. 수소는 자연의 존재하는 가장 풍부한 원소이지만 화석연료 또는 물 등에 포함되어 존재하기 때문에 다양한 물리화학적 방법으로 수소를 추출하는 과정이 필요하다. 수전해 기술의 경우 수전해장치의 구성요소 및 반응환경에 따라 알카라인 수전해(Akaline electrolysis, AEL), 고분자 전해질 방식의 수전해(Polymer electrolyte mem-brane electrolysis, PEMEL), 고체산화물 수전해(Solid oxide electrolysis cell, SOEC), 고온 수전해(High temperature Electrolysis, HTEL)등이 있다. 각 기술별 간단한 특징은 아래의 <표 3-22>에 나타내었다.

<표 3-22> AEL, PEMEC, SOEC 개략도 및 반응식

AEL 개략도 및 반응식	PEMEC 개략도 및 반응식	SOEC 개략도 및 반응식
 <p><b>Alkaline Electrolysis</b></p> <p>Cathode -      + Anode</p> <p>H<sub>2</sub>      1/2 O<sub>2</sub></p> <p>H<sub>2</sub>O      OH<sup>-</sup></p> <p>Cathode      Diaphragm      Anode</p> <p>Anode: 2OH<sup>-</sup> → H<sub>2</sub>O + 1/2 O<sub>2</sub> + 2e<sup>-</sup>                  Cathode: 2 H<sub>2</sub>O + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub> + 2OH<sup>-</sup>                  Overall cell: H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub></p>	 <p><b>PEM Electrolysis</b></p> <p>Cathode -      + Anode</p> <p>H<sub>2</sub>      1/2 O<sub>2</sub></p> <p>H<sub>2</sub>O      H<sup>+</sup></p> <p>Cathode      Membrane      Anode</p> <p>Anode: H<sub>2</sub>O → 2H<sup>+</sup> + 1/2 O<sub>2</sub> + 2e<sup>-</sup>                  Cathode: 2H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub>                  Overall cell: 2H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub></p>	 <p><b>Solid Oxide Electrolysis</b></p> <p>Cathode -      + Anode</p> <p>H<sub>2</sub>      1/2 O<sub>2</sub></p> <p>H<sub>2</sub>O      O<sup>2-</sup></p> <p>Cathode      Membrane      Anode</p> <p>Anode: O<sup>2-</sup> → 1/2 O<sub>2</sub> + 2e<sup>-</sup>                  Cathode: H<sub>2</sub>O + 2e<sup>-</sup> → H<sub>2</sub> + O<sup>2-</sup>                  Overall cell: H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub></p>

출처 : S. Shiva Kumar, V. Himabindu (2019)

아래의 <표 3-23>은 2019년 IEA에서 발표한 ‘The Future of hydrogen, Seizing today’ s opportunities 의 수록된 내용으로 수전해 기술별 기술·경제적 특성, 장기 목표, 설비투자비용 CAPEX(Capital expenditures) 등을 나타내고 있다. 향후 연구개발을 통하여 수전해 효율은 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 수전해 장비의 내구성(Life time) 및 설비투자 비용도 개선될 것으로 기대된다.

<표 3-23> 수전해 기술별 기술경제적 특성 및 장기목표

	알카라인			고분자 전해질			고체 산화물		
	2019	2030	장기	2019	2030	장기	2019	2030	장기
Electrical efficiency (% LHV)	63-70	65-71	70-80	56-60	63-68	67-74	74-81	77-84	77-90
Operating pressure (bar)	1-30	-	-	30-80	-	-	1	-	-
Operating temperature (°C)	60-80	-	-	50-80	-	-	650-1000	-	-
Stack lifetime (operating hours)	60000-90000	90000-100000	100000-150000	30000-90000	60000-90000	100000-150000	10000-30000	40000-60000	75000-100000
Load range (% relative to nominal load)	10-110	-	-	0-160	-	-	20-1000	-	-
Plant footprint (m <sup>2</sup> /kWe)	0.095	-	-	0.048	-	-	-	-	-
CAPEX (USD/kWe)	500-1400	400-850	200-700	1100-1800	650-1500	200-900	2800-5600	800-2800	500-1000

\*notes : LHV = lower heating value; m<sup>2</sup>/kWe = square metre per kilowatt electrical. No projections made for future operating pressure and temperature or load range characteristics. For SOEC, electrical efficiency does not include the energy for steam generation. CAPEX represents system costs, including power electronics, gas conditioning and balance of plant; CAPEX ranges reflect different system sizes and uncertainties in future estimates.

출처 : IEA (2019)

알카라인 수전해 기술의 경우, 알카리 용액인 KOH를 전해질로서 사용한다. 해당 기술은 양극사이의 일정수준의 전압과 전류를 방전하고, 산화반응을 통해 산소와 수소가 발생하는 가장 간단한 구조의 수전해 기술이다. 수전해 전극촉매로 니켈, 스테인리스강등 내구성과 가격경쟁력을 갖춘 소재를 사용하며, 다른 수전해 기술과 비교하여 기술수준이 가장 높은 편이다. 그러나 전류 밀도 및 생산되는 수소의 순도가 낮은 점과 안정적인 운전까지 도달되는 시간이 길고 부하 조건 등에 따라 작동에 어려움이 발생하는 단점을 가지고 있다. 고분자 전해질 방식의 수전해는 알카라인 수전해와는 달리 고압에서 구동되며, 고분자 막을 전해질로 활용하는 방식이다. 전류밀도가 비교적 높고, 시동 시간이 짧아서 탄력적인 운영이 가능하며, 생산되는 수소의 순도 또한 높은 장점을 가지고 있다. 하지만 알카라인 수전해 기술과 비교하여 낮은 내구성문제를 가지고 있으며, 시스템 구축 비용이 높은 단점을 가지고 있다. 고체산화물 수전해 방식의 경우 700℃ 이상의 고온에서 운전되며, 세라믹과 같은 이온전도성 고체산화물을 전해질로 이용하여 수증기를 분해하는 수전해 기술이다. 이때 전기에너지 소모량이 적고 수소전환효율이 높고 귀금속 소재를 사용하지 않아 경제성이 높은 장점을 가지고 있다. 하지만, 고온조건 700℃ 이상의 운전온도를 반드시 확보하여야 하며, 세라믹셀을 사용하기 때문에 제조공정의 난이도가 높고 내구성이 낮은 단점을 가지고 있다. 알카라인 및 고분자 전해질 수전해 기술과 비교하여 상대적으로 높은 고온에서 동작하기 때문에 고온 수전해 기술로 통칭하여 구분하기도 한다.

나. P2G 기술패키지의 핵심 기술 인벤토리

P2G 기술패키지를 구성하는 핵심 기술에 대한 최근 국내·외 현황 및 기술정보를 수집하기 위해 관련 기술 전문가를 대상으로 기술의 개요, 장/단점, 기술수준, 기술공정 Input/output, 주요 연구기관, 온실가스 감축기여도(정성) 등을 조사하였다.

1) 알카라인 수전해(Alkaline Electrolysis)

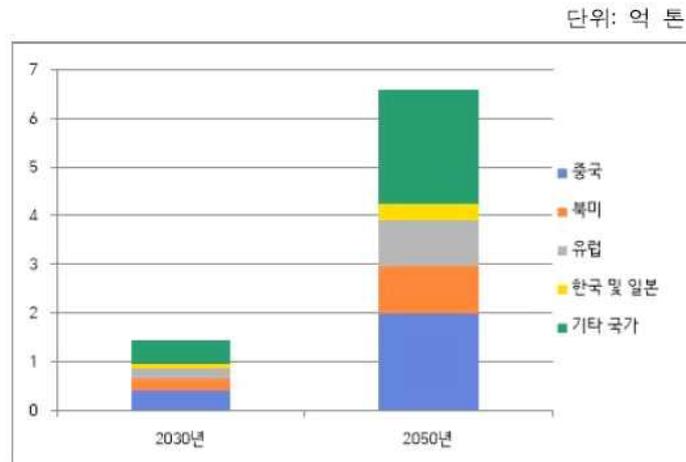
세부 기술명	알카라인 수전해(Alkaline Electrolysis)
기술개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 그린수소생산 기술은 수전해 장치를 재생에너지에 직접 연계하여 물로부터 수소를 생산하는 기술로 이산화탄소 발생이 없는 수소 생산 기술을 말함</li> <li>· 수전해 장치에서 사용되는 전해질의 종류에 따라 알카라인 수전해(alkaline electrolysis), 양성자교환막 수전해(PEM electrolysis), 고온 수증기 전해(Solid-oxide electrolysis) 세 가지로 분류할 수 있음</li> <li>· 알카라인 수전해는 전해질로 고농도의 수산화칼륨 수용액을 사용하며 반응온도가 비교적 저온이며, 다양한 수전해 기술 중 가장 성숙된 기술임</li> </ul>

<p>기술 장/단점</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 장점 : 알카라인 수전해 기술은 다른 수전해 기술에 비해 기술 성숙도가 높기 때문에, 신뢰성 및 내구성이 확보되어있음. 수전해 장치 모든 핵심 요소 부품에 비귀금속인 저가형 소재(SUS, Ni 등)를 사용함.</li> <li>· 단점 : 운전 전류밀도가 상대적으로 낮아서 (~0.4 A/cm<sup>2</sup>), 장치의 부피가 큼. 다공성격막을 분리막으로 사용하기 때문에, 다른 수전해 기술에 비해 생성된 가스의 혼입 가능성이 높아 장치 운전 시 주의가 필요함.</li> </ul>									
<p>기술수준</p>	<p>TRL 기준</p>	<p>8~9단계 수준</p>								
	<p>기술 사업화 단계 도달 시점(예상)</p>	<p>현재</p> <p>●</p>	<p>5년후</p> <p>●</p>	<p>10년후</p>	<p>15년후</p>	<p>20년후</p>	<p>25년후</p>	<p>30년이후</p>		
 <p style="text-align: center;">&lt;기술성숙도 TRL&gt;</p>										
<p>기술공정 Input / Output</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Input : 물, 수산화칼륨 전해질, 전해 반응시 소모되는 전력</li> <li>· Output : &gt;99% 순도의 수소, &gt;99% 순도의 산소 부산물</li> <li>※ 기술공정시 투입되는 원료와 최종산물 예시</li> </ul>									
<p>주요 연구기관 (산·학·연)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해외 : Hydrogenics(캐나다), NEL(노르웨이), Thyssenkrupp Industrial Solution AG (독일), Asahi-Kasei corporation(일본) 등 상용화 단계</li> <li>· 국내 : (연구소) 한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원, 한국화학연구원, 한국재료연구원, 한국생산기술연구원 등에서 연구 개발 중</li> <li>(기업) 수소에너지, (주)테크로스, (주)테크윈 등에서 상용화 수준 제품 개발 중</li> </ul>									
<p>온실가스 감축기여도 정성평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기술을 이용함으로써 온실가스 감축 효과는 어느 정도인지 정성적으로 예측</li> <li>- 1점 : 온실가스 감축효과 거의 없음</li> <li>- 10점 : 획기적으로 온실가스 감축을 통해 기후변화 대응에 크게 기여함</li> </ul>									
	<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>5</p>	<p>6</p>	<p>7</p>	<p>8</p> <p>●</p>	<p>9</p>	<p>10</p>

<p>관련의견</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 정성예측 판단의 근거 및 의견</li> <li>- 알카라인 수전해 기술을 재생에너지와 연계하여 활용할 경우 수소 생산 시 이산화탄소 발생이 전무함. 전세계적인 탄소중립 정책 방향 기조에 따르면 재생에너지 전력량이 급증할 것으로 예상함. 이에 잉여 재생에너지 자원을 저장할 매체로 수소가 많은 관심을 받고 있음. 이에 알카라인 수전해 기술의 개발은 온실가스 감축을 통해 기후변화 대응에 크게 기여할 것으로 판단 됨.</li> </ul>																
<p>산업 및 시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 국내외 정책 동향</li> <li>- 전세계는 지구온난화 문제를 해결하고자 2015년 파리기후협약에서 온실가스 감축을 제한하기로 하였으며, 이를 위해 전세계는 석유, 석탄 등 전통적 화석에너지 대신 태양광, 풍력 등 재생에너지를 이용한 전력 생산 확대 방안을 모색하고 있음</li> <li>- 수소는 불규칙적이고 변동성이 큰 재생에너지의 전력 저장에 용이하며, 특히 MW 규모 이상의 대용량 에너지 저장에서는 수소가 여러 기술 중 가장 적합하다고 평가.(IEA, Technology roadmap, 2015)</li> </ul> <div data-bbox="689 936 1098 1422" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>국내 수소 사용 및 생산 계획 (단위: t)</caption> <thead> <tr> <th>연도</th> <th>수소 사용량</th> <th>블루수소 생산량</th> <th>그린수소 생산량</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2020년</td> <td>22만</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2030년</td> <td>390만 (50%)</td> <td>75만</td> <td>25만</td> </tr> <tr> <td>2050년</td> <td>2700만 (100%)</td> <td>200만</td> <td>300만</td> </tr> </tbody> </table> <p>자료: 산업통상자원부('수소 선도국가 비전', 10월7일) *괄호 안은 청정수소 비율</p> </div> <p>&lt;국내 수소 사용량 및 생산계획, 출처 : 산업통상자원부 (2021)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 수소 사용량 및 생산계획으로 그린수소 기준 2030년 25만톤, 2050년 300만톤으로 계획하고 있음. 재생에너지의 변동성을 해결할 수 있는 가장 효율적인 방법이 수전해 기술이며, 주요국에서도 수소경제 확산을 위한 다양한 정책들을 발표하고 있고 우리나라 또한 "수소경제 활성화 로드맵"을 시작으로 수소경제 활성화를 위해 노력 중임.</li> <li>- 국내 수소 사용량 및 생산계획으로 그린수소 기준 2030년 25만톤, 2050년 300만톤으로 계획하고 있음. 재생에너지의 변동성을 해결할 수 있는 가장 효율적인 방법이 수전해 기술이며, 주요국에서도 수소경제 확산을 위한 다양한 정책들을 발표하고 있고 우리나라 또한 "수소경제 활성화 로드맵"을 시작으로 수소경제 활성화를 위해 노력 중임.</li> </ul>	연도	수소 사용량	블루수소 생산량	그린수소 생산량	2020년	22만	0	0	2030년	390만 (50%)	75만	25만	2050년	2700만 (100%)	200만	300만
연도	수소 사용량	블루수소 생산량	그린수소 생산량														
2020년	22만	0	0														
2030년	390만 (50%)	75만	25만														
2050년	2700만 (100%)	200만	300만														

## · 국내외 시장 동향

- 탄소중립이 달성된다는 전제 하에 수요량은 2030년 1억 4,000톤, 2050년 6억 6,000톤 수준에 이르러 최종에너지 수요의 약 22%를 차지할 전망. 중국을 비롯한 아시아지역 수요가 2억 3,500톤으로 가장 높을 것으로 예상
- 세계 수소 생산시장 규모는 '20년 기준 약 1,296억 달러로 추정. 연평균 9.2% 성장해 '25년에는 약 2,014억 달러에 이를 것으로 전망. 아시아-태평양 지역이 가장 높은 성장률(연평균 10.0%)을 기록하며 '25년 935억 달러를 차지할 것으로 예상



<국내외 수소 수요 전망, 출처 : Mackinsey&company>

## · 국내외 수전해 개발 프로젝트 현황

- 1988년 이후로 유럽(독일, 덴마크, 영국, 프랑스), 미국, 일본에서 150개 이상의 재생에너지 연계형 수전해 장치 개발 프로젝트가 진행되었으며, 2019년 기준 94개가 운영되고 있으며, 점차 GW까지 대형화되고 있음
- 독일의 Audi e-gas 플랜트에서는 3개의 2MW급 수전해 설비 운전 중, E-ON에서는 풍력발전과 연계하여 360 Nm<sup>3</sup>/h의 수소를 생산할 수 있는 2 MW급의 수전해 상업 운전을 시작함
- McPhy社は 연간 3,000톤 수소생산 및 2만 7천톤 CO<sub>2</sub> 감축을 목표로 20MW급 수전해 프로젝트를 진행, Nouryon社, Gasunie社와 함께 네덜란드 Delfzijl에 수전해 설비 설치
- 노르웨이의 NEL社は AE 수전해 대표기업으로 2017년 PEM 수전해 대표기업인 미국 Proton onsite社를 인수하여 사업군을 확장. 유럽, 미국 등 수많은 프로젝트 참여하고 있음
- 일본 Asahi Kasei社は 후쿠시마 수소에너지 연구(Fukushima Hydrogen Energy Research Field)를 통해 5MW급 단일 스택 알카라인 수전해 장치를 개발 및 실증 완료한 상태임
- 독일 Thyssenkrupp社は 20MW 수전해 스택를 개발하였으며, 2GW MEOM (Saudi Arabia) 프로젝트를 수주, 26년까지 설비를 설치할 계획임.

- 국내의 경우 과기부, 산업부 중심으로 R&D 지원을 시작하였으나 대부분 원천소재 개발에 치중하였고 2017년 제주 상명풍력단지에서 0.25MW 급 실증사업을 시작으로 현재 10MW급 실증사업이 추진되고 있으나 스택 효율 등 국외 대비 기술 격차가 큼.



<전세계 P2G 프로젝트 현황, 출처 : KISTEP (2021)>

· 기술의 발전을 저해하는 요소는 어떤 것인지?

기술장벽 (부족한 RD&D)	금융 장벽 (재정지원, 시장 진입 불확실성)	정책 장벽 (정책지원부족)	수행능력 장벽 (전문인력 부족, 지식접근 )
	●		●

사업화 한계 요소

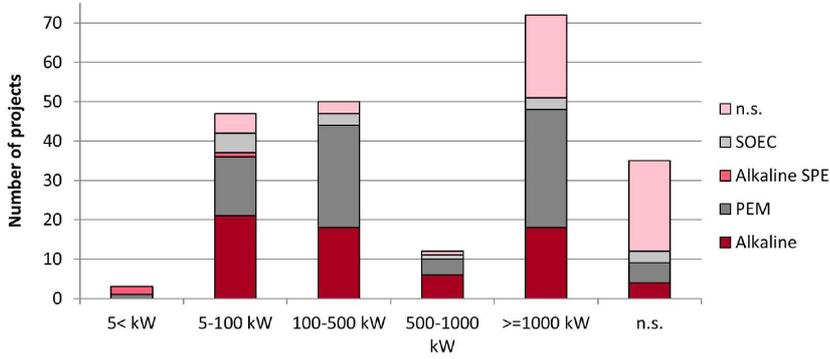
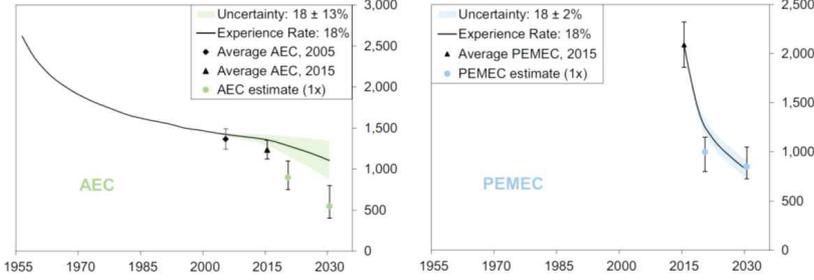
- 사업화 한계요소 판단의 근거 및 의견
- 국내 알카라인 수전해 사업화는 정부 R&D과제의 지원 아래 여러 회사에서 시도되고 있으나, 여전히 해외와의 기술 격차 및 전문 인력의 부족으로 인해 어려움을 겪고 있음. 해외 선도 기업과 국내 기업과의 알카라인 수전해 기술 격차는 5년 정도임. 이에, 국내 기업에서는 해외 선도 그룹과의 경쟁으로 인해 곧 열릴 그린수소 생산 시장 진입 시 불확실성을 안고 있음. 또한, 국내 수전해 기술 전문 인력의 부족으로 인해, 알카라인 수전해 사업을 시작한 기업에서 사업 확장 및 기술 고도화에 어려움을 겪고 있음.

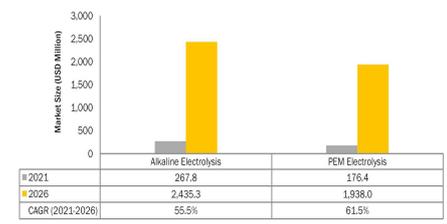
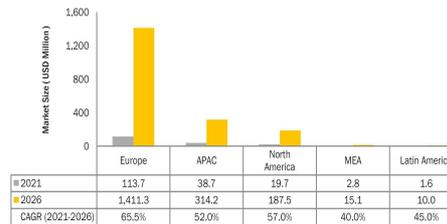
<p>UN SDG와 연결성</p>	<p>연관성 : 7번(신재생에너지), 13번(기후변화대응)</p>  <p>&lt;지속가능발전목표 SDGs, 출처 : UN&gt;</p>
<p>기술 관련 전문가 의견</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해당 분야에 대한 의견</li> <li>- 지구온난화를 억제하고자 하는 전 세계적 정책과 수소 기반으로의 에너지 전환에서는 수전해 기술이 핵심으로, 국가적 지원 하에 기술의 자립화가 필요함.</li> <li>- 국내의 경우 과기부, 산업부 중심으로 수전해 기술에 대한 R&amp;D지원을 하고 있으나, 대부분 원천소재 개발에 국한되어 있음.</li> <li>- 상용화 스케일의 국내 수전해 기술은 여전히 해외 선도 기업에 비해 기술격차가 존재하므로, 기 개발된 뛰어난 원천기술을 상용화 스케일까지 발전시키는 연구가 필요함.</li> <li>- 빠른 시일 내에 해외 선도 기업과의 상용화 스케일 기술 격차를 극복하고, 국가적으로 전문 인력을 양성하여 국내 기업이 시장에 진입하고 경쟁할 수 있는 기틀을 마련해야함.</li> </ul>

2) 고분자전해질 수전해(PEMEC)

<p>세부 기술명</p>	<p>고분자전해질 수전해(Polymer Electrolyte Membrane Electrolysis Cell)</p>
<p>기술개요</p>	<p>고분자전해질막을 이용하는 전기화학반응기를 사용하여, 물을 전기에너지로 분해하여 수소와 산소를 생산하는 기술</p>

<p>기술 장/단점</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 장점: 부하 변동 특성이 우수하고 수소생산 속도가 높아 재생에너지 연계 그린수소 생산에 최적화된 기술</li> <li>· 단점: 개발 역사가 짧고 고가의 촉매 및 유로 소재를 사용하여 장치 가격이 다소 높음</li> </ul>																													
<p>TRL 기준</p>	<p>7단계(시제품 신뢰성 평가) 수준</p>																													
<p>기술 사업화 단계 도달 시점(예상)</p>	<p>현재</p>	<p>5년후</p>	<p>10년후</p>	<p>15년후</p>	<p>20년후</p>	<p>25년후</p>	<p>30년이후</p>																							
<p>기술수준</p>	● (해외)	● (국내)																												
<p>기술공정 Input / Output</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Input : 태양광, 풍력 등에서 생산되는 재생전력 또는 전력망 일반 전력, 물</li> <li>· Output : 수소, 산소</li> <li>※ 기술공정시 투입되는 원료와 최종산물 예시</li> </ul>																													
<p>주요 연구기관 (산·학·연)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해외: NEL, Siemens, ITM Power 등 상용화</li> <li>· 국내: 엘캠텍, 코오롱, 보야스에너지, 한국과학기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국화학연구원, 한국재료연구원, 서울대학교, KAIST 등</li> </ul>																													
<p>온실가스 감축기여도 정성평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기술을 이용함으로써 온실가스 감축 효과는 어느 정도인지 정성적으로 예측</li> <li>- 1점 : 온실가스 감축효과 거의 없음</li> <li>- 10점 : 획기적으로 온실가스 감축을 통해 기후변화 대응에 크게 기여함</li> </ul> <table border="1" data-bbox="354 1803 1436 1944"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">●</td> </tr> </table>										1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										●
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																					
									●																					

<p>관련의견</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CO<sub>2</sub> 발생이 전혀 없는 그린수소를 생산하여 수송, 열, 전력, 산업 연료/원료 등의 화석연료 사용을 대체함</li> <li>· 태양광, 풍력 발전 보급 확대를 보조하는 필수 기술임. 여분 전력을 수소로 전환하여 저장함으로써, 전력망 안정화 및 장기/대량 에너지 저장에 기여함</li> <li>· 2050년 탄소중립 달성을 위해 수소 관련 기술이 CO<sub>2</sub> 감축량 기준 20% 이상 기여할 것으로 분석/전망되는데, 청정수소의 생산/저장/활용 체계 구축의 시작점임</li> </ul>
<p>산업 및 시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기존 수행된 실증과제를 분석하면 PEM 수전해가 알칼리수전해와 함께 높은 비중을 차지함을 알 수 있음.</li> </ul>  <p>&lt;용량에 따른 전해질 종류, 출처: Frontiers in Energy Research 8 (2020)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· PEM수전해는 알칼리수전해와 비교하여 최근에 상용화되었으며, 연구/개발과 양산화를 통해 빠르게 가격이 낮아질 것으로 전망됨.</li> </ul>  <p>&lt;출처: Int. J. Hydrogen Energy 42 (2017)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 수전해 시장은 2021년 알칼리수전해와 PEM수전해 기술이 주도하고 있으며, 향후 PEM 수전해(CAGR 61.5%)가 더 빠르게 성장할 것으로 전망됨.</li> </ul>

	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>FIGURE 19</b> ALKALINE ELECTROLYSIS TECHNOLOGY TO DOMINATE GREEN HYDROGEN MARKET DURING FORECAST PERIOD</p>  <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Alkaline Electrolysis</th> <th>PEM Electrolysis</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td># 2021</td> <td>267.8</td> <td>176.4</td> </tr> <tr> <td># 2026</td> <td>2,435.3</td> <td>1,938.0</td> </tr> <tr> <td>CAGR (2021-2026)</td> <td>55.5%</td> <td>61.5%</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>Source: Expert Interviews, Secondary Research, and MarketsandMarkets Analysis</small></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>FIGURE 21</b> EUROPE TO REMAIN LARGEST GREEN HYDROGEN MARKET FOR PEM ELECTROLYSIS TECHNOLOGY</p>  <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Europe</th> <th>APAC</th> <th>North America</th> <th>MEA</th> <th>Latin America</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td># 2021</td> <td>113.7</td> <td>38.7</td> <td>19.7</td> <td>2.8</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td># 2026</td> <td>1,411.3</td> <td>314.2</td> <td>187.5</td> <td>15.1</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>CAGR (2021-2026)</td> <td>65.5%</td> <td>52.0%</td> <td>57.0%</td> <td>40.0%</td> <td>45.0%</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>Source: Expert Interviews, Composites World, Government Publications, and MarketsandMarkets Analysis</small></p> </div> </div> <p style="text-align: center;">&lt;출처 : Markets and markets (2021)&gt;</p>		Alkaline Electrolysis	PEM Electrolysis	# 2021	267.8	176.4	# 2026	2,435.3	1,938.0	CAGR (2021-2026)	55.5%	61.5%		Europe	APAC	North America	MEA	Latin America	# 2021	113.7	38.7	19.7	2.8	1.6	# 2026	1,411.3	314.2	187.5	15.1	10.0	CAGR (2021-2026)	65.5%	52.0%	57.0%	40.0%	45.0%
	Alkaline Electrolysis	PEM Electrolysis																																			
# 2021	267.8	176.4																																			
# 2026	2,435.3	1,938.0																																			
CAGR (2021-2026)	55.5%	61.5%																																			
	Europe	APAC	North America	MEA	Latin America																																
# 2021	113.7	38.7	19.7	2.8	1.6																																
# 2026	1,411.3	314.2	187.5	15.1	10.0																																
CAGR (2021-2026)	65.5%	52.0%	57.0%	40.0%	45.0%																																
<p>사업화 한계 요소</p>	<p>· 기술의 발전을 저해하는 요소는 어떤 것 인지?</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">기술장벽 (부족한 RD&amp;D)</td> <td style="width: 25%;">금융 장벽 (재정지원, 시장진입 불확실성)</td> <td style="width: 25%;">정책 장벽 (정책지원 부족)</td> <td style="width: 25%;">수행능력 장벽 (전문인력 부족, 지식접근)</td> </tr> <tr> <td>●</td> <td>●</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	기술장벽 (부족한 RD&D)	금융 장벽 (재정지원, 시장진입 불확실성)	정책 장벽 (정책지원 부족)	수행능력 장벽 (전문인력 부족, 지식접근)	●	●																														
기술장벽 (부족한 RD&D)	금융 장벽 (재정지원, 시장진입 불확실성)	정책 장벽 (정책지원 부족)	수행능력 장벽 (전문인력 부족, 지식접근)																																		
●	●																																				
<p>UN SDG와 연결성</p>	<p>연관성 : 7번(신재생에너지), 8번(고용창출 및 경제성장), 13번(기후변화대응)</p>  <p style="text-align: center;">&lt;지속가능발전목표 SDGs, 출처 : UN&gt;</p>																																				
<p>기술 관련 전문가 의견</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해외 청정수소 생산에도 활용될 수 있는 기술·산업이므로 국내 그린수소 생산을 포함하는 시각으로 정책을 추진하여야 함</li> <li>· 해외 소재·부품을 활용하여 MW급 규모의 스택·시스템을 조기 확보하여 그린수소 생산에 우선 대응하고, 소재·부품의 저가 및 고성능 혁신 기술 연구·개발을 병행하여 독자 기술을 확립하는 전략을 장기적 안목으로 추진해야 함</li> </ul>																																				

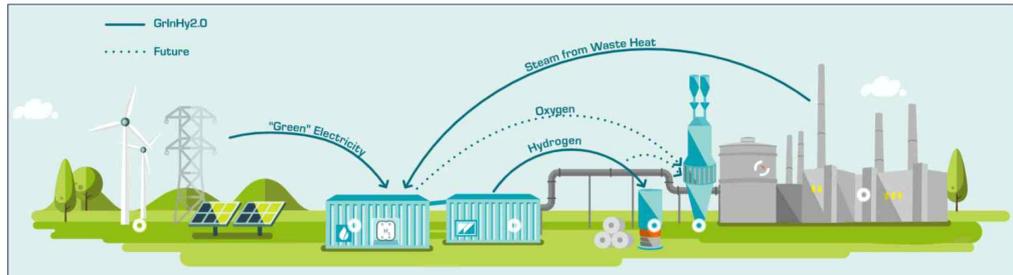
3) 고체산화물 수전해 (solid oxide electrolysis cell, SOEC)

<p>세부 기술명</p>	<p>고체산화물수전해 (solid oxide electrolysis cell, SOEC) 기술</p>							
<p>기술개요</p>	<p>· SOEC 시스템은 700 °C 이상의 고온에서 고체산화물 셀을 통해 고온의 수증기를 직접 전기분해하여 수소를 대량 생산할 수 있으며, 이때 전기에너지 소모량이 적고 경제성이 우수한 미래 친환경·고효율 에너지 변환 기술임</p>							
<p>기술 장/단점</p>	<p>· 장점 : SOEC 기술은 타 수전해 기술(Alkaline 수전해, PEM 수전해)과 비교하여 소모 전력이 낮으며 물을 수소로 전환하는 효율이 가장 높은 기술임. 타 기술과 비교하여 동일한 인가전압에서 높은 전류 밀도를 가질 수 있어 대량의 수소를 생산할 수 있는 장점을 가짐. 또한 시스템에 사용하는 소재는 타 수전해 기술에서 사용하는 고가의 귀금속 소재를 사용하지 않아 경제성을 가짐</p> <p>· 단점 : SOEC 시스템을 작동하기 위해서는 700 °C 이상의 고온이 반드시 필요함. 또한 세라믹 셀을 사용하기 때문에 제조공정의 어려움 및 세라믹 자체의 내구성이 떨어짐. 더욱이, 고온의 작동 온도로 인해 시스템에 적용되는 요소 부품의 내구성 확보를 위해 고가의 부품을 사용함으로써 시스템 가격이 높음</p>							
<p>TRL 기준</p>	<p>· TRL 6 내지 7단계 수준</p>							
<p>기술 사업화 단계 도달 시점(예상)</p>	<p>현재</p>	<p>5년후</p>	<p>10년후</p>	<p>15년후</p>	<p>20년후</p>	<p>25년후</p>	<p>30년이후</p>	
<p>기술수준</p>	<p style="text-align: center;">&lt;기술성숙도 TRL&gt;</p>							
<p>기술공정 Input / Output</p>	<p>· Input</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세라믹 셀 및 스택에 이용되는 소재 원료 (Zr, Ni, Co 등 전이금속 소재) 및 고온에서 견딜 수 있는 금속 부품 (분리판 등)</li> <li>- 세라믹 셀 가공에 따른 제조공정시스템</li> </ul>							

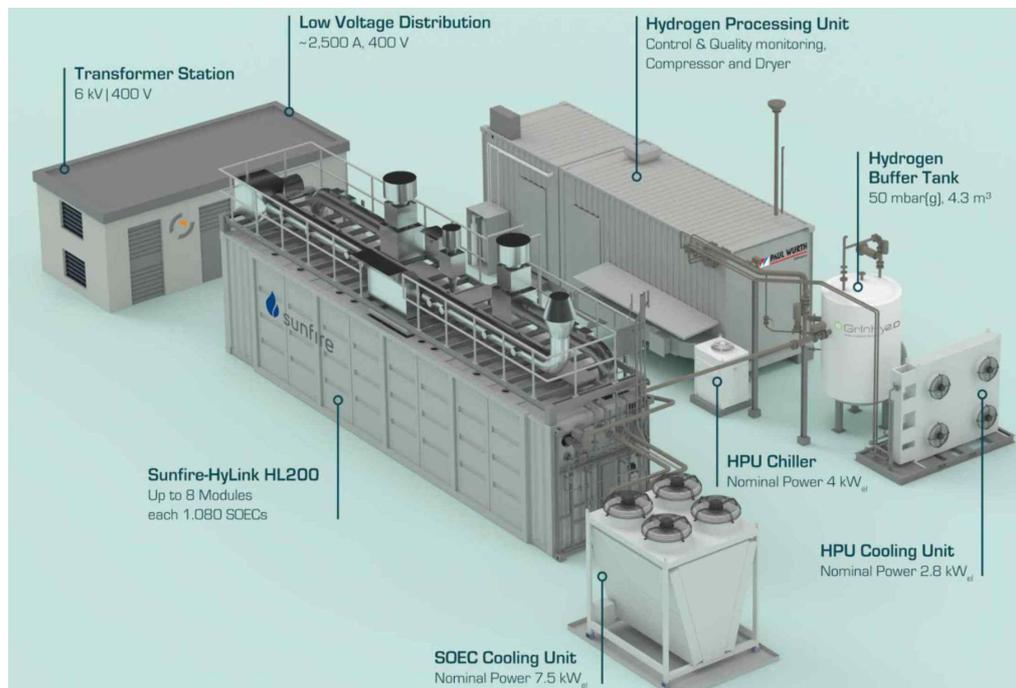
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신재생에너지에 의해 발생된 전력 및 저장시스템</li> <li>- 원자력발전소 및 산업기반(제철소, 석유화학공장)에서 발생하는 고온의 열 및 스팀</li> <li>- 구동을 위한 스팀, 수소, 공기(산소)를 정제하기 위한 에너지(소모 전력 등)</li> <li>- 시스템 내 셀의 구동을 위한 다양한 가스(수소 및 공기)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Output</li> <li>- 고순도 수소, 고온의 열, 스팀, Input 가스 종류에 따라 (NH<sub>3</sub>, syngas CO 등 생산 가능)</li> </ul>																				
<p>주요 연구기관 (산학연)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해외</li> <li>- Idaho National Lab, Versa Power Systems, Julich, Riso DTU</li> <li>- Sunfire(독일), Haldor Topsoe(독), Neste(핀란드), Ceres Power(영국), Solid Power (이탈리아), Ceramatec(미국), Fuelcellenergy(미국), Bloomenergy(미국)</li> <li>· 국내</li> <li>- (TRL 5 이상) 한국에너지기술연구원, 포항과학기술연구원, 한국과학기술연구원, 한국 기계연구원, (주)케이세라셀, 지필로스, BHI 등</li> <li>- (TRL 4이하) 포항공대, KAIST, 인하대, 전북대, GIST 등</li> </ul>																				
<p>온실가스 감축기여도 정성평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기술을 이용함으로써 온실가스 감축 효과는 어느 정도인지 정성적으로 예측</li> <li>- 1점 : 온실가스 감축효과 거의 없음</li> <li>- 10점 : 획기적으로 온실가스 감축을 통해 기후변화 대응에 크게 기여함</li> </ul> <table border="1" data-bbox="355 1137 1329 1267" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>●</td><td></td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									●	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
								●													
<p>관련의견</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2040년까지 재생에너지 비중 30% 확보 및 이를 이용한 다양한 수전해 시스템과 함께 고체산화물수전해 시스템으로부터 2040년 국내 연간 수소공급량 20% 확보에 대한 자료를 바탕으로 본 시스템은 온실가스를 획기적으로 감축할 것으로 사료됨</li> </ul>																				
<p>해당 기술관련 산업 및 시장동향 참고자료</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해외 고체산화물 연료전지/수전해 발전 산업 기술 동향</li> <li>- SOEC 기술은 유럽 및 미국을 중심으로 개발 확대되고 있음</li> <li>- 유럽의 고온수전해 연구는 2002년~2006년 추진된 European Hi2H2 프로젝트를 시작으로 여러 국가 및 기관이 참여하여 (CEA(프랑스), DTU-RISO(덴마크), ECN(네델란드), EIFER(독일), Helion(프랑스), Imperial College(영국), EMPA (스위스), DLR (독일) 및 Topsoe (덴마크) 등) RelHy (Innovative Solid Oxide Electrolyser Stack for Efficient and Reliable Hydrogen Production, 2007년~2013년) 컨소시엄을 통해 본격적으로 추진</li> <li>- 2008년부터 Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) 파트너십을 통해 유럽 전 국가에 걸쳐 진행되는 통합 과학 기술 연구 예산인 Framework Programme for Research 및 Horizon 2020 (2014년~2020년)을 기반으로 현재까지 유럽 공동 프로젝트로 추진</li> <li>- 최근 유럽은 최근 FCH JU 파트너십을 통해 유럽 전 국가에 걸쳐 진행되는 통합</li> </ul>																				

과학 기술 연구 예산인 Framework Programme for Research의 지원아래 2016년도 1차, 2019년도 2차 GrInHy(Green Industrial Hydrogen via high-temperature electrolysis) 프로젝트를 추진중

- 이는 산업 환경과 연계한 가역 고체산화물 연료전지 및 수전해 기술을 기반으로 독일 Sunfire 기업을 필두로 여러기관 (SZMF/SZFG/EIFER(독일), BOEING(스페인), POLITO university(이탈리아), VTT(핀란드), IPM(체코))이 참여하고 있음



<GrInHy2.0's project concept to produce hydrogen from renewable electricity and steam from waste heat, 출처 : salzgitterAG>

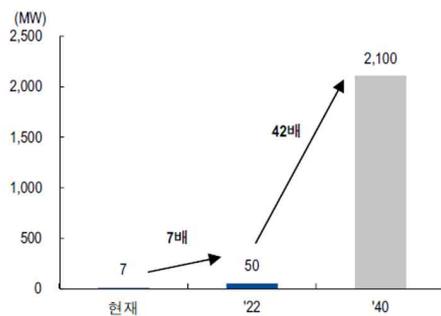


<GrInHy2.0 프로젝트 산업연계 그린수소생산 시스템 운영 개략도, 출처 : Sunfire>

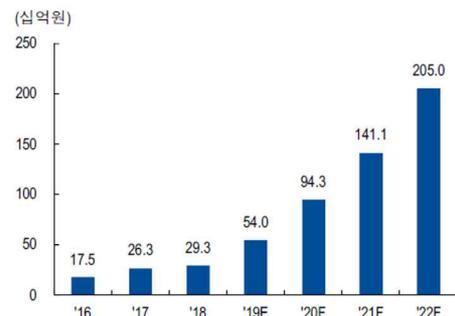
- 미국의 경우 2005년과 2009년 각각 DOE Nuclear Hydrogen Initiative (NHI) 프로그램, Next Generation Nuclear Plant (NGNP) 프로그램을 통한 고온수전해 수소 생산 기술 방식으로 대량 수소를 제조하는 연구를 진행.
- 4세대 고온원자로 시스템과 연계한 고온수전해 방법을 통해 수소제조 기술에 대한 타당성 검증 실시
- 원자로 고온에너지(열과 스팀)와 연계하여 Idaho National Lab. (INL) 및 Fuelcell

- Energy 기업 중심으로 연구 개발 수행
- 또한 Fuel Cell Energy 기업과 2012년 합병된 Versa Power Systems (VPS)에서 DOE Hydrogen and Fuel Cell 프로그램을 통해 내구성이 우수한 kW 급 가역 고체산화물 연료전지 및 수전해 시스템 개발 추진
- 셀 소재, 연결재 소재, 및 열화 메커니즘 규명 연구를 기반으로 가역 고체산화물 스택을 제작, 시험평가를 통해 꾸준히 시스템의 Scale-up을 추진주임
- 국내 고체산화물 연료전지/수전해 발전산업 시장
- : SOEC 기술은 고체산화물연료전지(SOFC)의 발전과 동반하여 성장 할 것
- 정부는 2019년 1월에 발표한 수소경제활성화 로드맵(안)에 의해 주택·건물용 연료전지 및 발전용 연료전지 보급목표를 설정함
- 신재생에너지 설치비율 의무화 정책, 탈원전·탈석탄 정책, 미세먼지 문제 등 다양한 이슈에 의해 연료전지 시장을 더욱 성장할 것으로 전망
- 국내 고체산화물 연료전지 시장은 미국 Bloomenergy 기업이 초기 진입한 상황이며, 이를 대체할만한 국내 스택 기술은 아직 부재한 상황임 (연료전지 시장 연평균 8.7% 확대 기조)
- 따라서, 작동온도 및 스택 가격 측면에서 기업에서 차별화된 경쟁력을 가지고 경쟁할만한 기술력을 제공할 필요성이 있으며, 이를 바탕으로 국내외 수소 뿐 아니라 연료전지 시장에 확대 가능 (수소에너지 시장 2020년 10%, 2040년 15% 확대)

정부의 주택·건물용 연료전지 보급목표(누적): 22년 50MW(현재의 7배), 40년 2.1GW(현재의 300배)



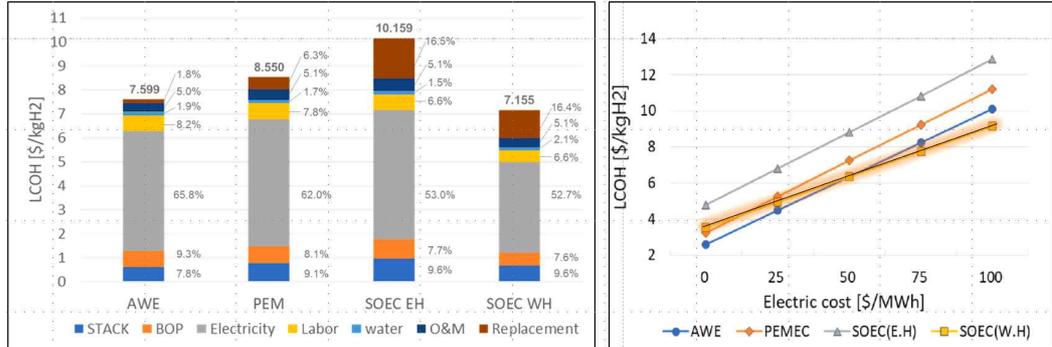
국내 주택·건물용 연료전지 시장 전망



<국내 주택·건물용 연료전지 시장규모, 출처 : 산업통상자원부, NH투자증권 리서치본부 (2019)>

- 국내 대기업을 중심으로 고체산화물연료전지 개발 확대
- 포스코에너지는 2019년 11월 5일 연료전지 전문회사인 '한국퓨얼셀'을 자회사로 설립하여 연료전지 사업의 내실화와 경쟁력 강화를 발표
- (주)두산의 연료전지 사업부문을 담당하던 두산퓨얼셀을 인적분할을 통해 독립법인으로 출범
- SK건설은 2019년 9월 블룸에너지와 SOFC 생산 및 공급을 위한 합작법인 설립과 국내생산 공장 설립에 관한 합작투자 계약을 체결

- 고체산화물수전해 시스템은 외부의 열원(제철소, 석유화학공정, 원자로 등)으로부터 고온 및 고온수증기를 공급받음으로써 소모전력 및 수소생산 가격을 낮출 수 있음
- 타 수전해 시스템(Alkaline, PEM)과 비교하였을 때 일반 전력을 이용하여 열을 공급하여 SOEC(EH)를 가동하였을 때는 경제성이 떨어지나 외부열원 공급(waste heat)등이 이루어질 때 수소를 생산하는 단가를 매우 낮출 수 있음



<수전해시스템 기술의 수소단가 비교,

출처 : Energy Conversion and Management (2022)>

- 우리나라의 고온수전해 연구는 2004년 21세기 프론티어사업을 시작으로 2016년 다부처공동연구사업 (미래부-환경부-산업부, 신재생 하이브리드 이용 미래 에너지 저장 기술) 연구를 통해 추진하였음.
- 다부처공동연구에서는 고체산화물 셀 작동에 필요한 열에너지를 폐자원을 활용한 700 °C 이상의 고온스팀 제조기술 개발과 함께 추진함으로써 전세계적으로 유일한 폐기물에너지 연계형 융합시스템 개발이 이루어졌으며, 한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원, 포항산업과학연구원 등 연구기관과 한국과학기술원, 인하대학교, 전북대학교, 국립공주대학교, Pittsburgh University(미국) 등 대학이 참여하였음
- 최근에는 2021년, 2022년 에너지기술개발사업(산업부)을 통해 20kW급 스택 및 시스템 개발 (700 °C 작동온도) 및 650 °C 온도에서 작동가능 한 고체산화물수전해 시스템 개발을 수행 중에 있음

· 기술의 발전을 저해하는 요소는 어떤 것 인지?

기술장벽 (부족한 RD&D)	금융 장벽 (재정지원, 시장진입 불확실성)	정책 장벽 (정책지원 부족)	수행능력 장벽 (전문인력 부족, 지식접근)
●	●	●	

사업화 한계 요소 및 관련의견

- 사업화 한계요소 판단의 근거 및 의견
- 소재, 부품 관련하여 국산화 기술 부족
- 기술 성숙도에 대한 연구자의 기술력과 정책 지원자들과의 의견 차이로 인해 기술력 확보 불안정성 발생
- 국내 기업의 시장 진출 및 확보 부족에 대한 정부의 꾸준한 관련 정책 규제 유연함 필요

<p>UN SDG와 연결성</p>	<p>연관성 : 7번(신재생에너지), 13번(기후변화대응)</p>  <p>&lt;지속가능발전목표 SDGs, 출처 : UN&gt;</p>
	<p>기술 관련 전문가 의견</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 고체산화물수전해 시스템은 앞서 언급한 바와같이 타 수전해 기술에 비해 적은 소모전력으로 대량의 그린 수소를 생산할 수 있는 기술임</li> <li>· 그러나 700 °C 이상의 고품질 고온의 수급을 위한 방안, 예를 들어 국내 실정에 맞는 원자로 연계, 제철소 연계 및 산업 폐열 연계 등, 본 기술이 상용화되기 위해 필수적으로 해결해야 할 것으로 판단되며 관련 산업이 본 기술과 연계되기 위해 유연한 정부 정책 지원이 필요함</li> <li>· 더불어 본 기술에 적용되는 고체산화물 셀 제조를 위한 소재, 스택을 제조하기 위한 부품은 해외에 의존하는 실정임. 이를 위해서는 꾸준한 소재 및 부품 개발에 장기적 투자가 필요할 것으로 사료됨</li> <li>· 특히, 소재 및 부품과 관련하여 기존 고체산화물연료전지(SOFC)에 적용되던 소재 및 부품은 고체산화물수전해(SOEC) 시스템에서 여러 문제점이 발견됨에 따라 이 두 모드를 분리하여 각각의 기술에 맞는 소재 및 부품 개발이 필수적임</li> <li>· 나아가, 현 산소이온전도체 기반 고체산화물수전해 시스템 개발은 작동온도영역 (700 °C 이상) 및 내구성에 한계를 극복하기 위해, 600 °C 이하의 온도에서 소재 및 부품의 내구성을 확보할 수 있는 차세대 프로톤전도체 기반 고체산화물수전해 (proton ceramic electrolysis cell, PCEC) 기술에 장기적 개발 투자가 필요함</li> <li>- 이는 국내 산업폐열(600 °C 이하)과 연계할 수 있는 온도대의 기술 개발로 산업 전반에 활용이 가능하며, 특히 관련기술의 진보를 통한 미래 먹거리 창출과 함께 소재 및 부품 국산화를 통한 기술력 확보를 가져올 것으로 판단됨</li> </ul>

## 제 4 장 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PLANET) 개발

### 제 1 절 정보화전략계획(ISP)에 기반한 데이터 정보플랫폼 기획 및 개발 방향

2021년도 수행된 ‘융·복합 기후기술 기반의 데이터 플랫폼 구축 및 인벤토리 연구’ 1단계 연구를 통해 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구축을 위한 정보화전략계획(ISP, Information Strategy Planning)이 수립되었다. ISP란 조직 내의 전략적 정보 요구를 식별하고, 업무 활동과 이에 대한 자료 영역을 기술하며, 정보시스템 개발을 위한 통합된 프레임워크를 제공하고, 이의 구현을 위한 통합 정보시스템 계획을 작성하는 체계적 접근방법을 일컫는다<sup>112)</sup>. ISP는 정보화 사업 추진에 있어 예산 낭비를 방지하고 정보화 계획의 효과를 극대화하기 위해 추진되며, 최근 국내에서 진행되는 공공 부문의 정보화 사업의 예산편성을 위해 기획재정부의 검토가 강화되었다. 「예산안 편성 세부지침」 및 「예산 및 기금운용계획 집행지침」 개정에 따라 국가 예산으로 추진되는 정보화 사업은 원칙적으로 ISP 수립 완료 이후에 예산을 요구할 수 있다. 또한 ISP는 ‘ISP 수립 공통가이드’를 참조하여 수립되어야 하며 ISP를 통해 최종적으로 목표 시스템, 연차별·항목별 상세 투자 소요, 타기관에서 운용 중인 정보시스템과의 상호 연계·활용을 통한 사업성과 제고 방안 등이 도출된다. ISP 수립 시, 민간이 운영하는 클라우드 컴퓨팅 도입·전환이 우선적으로 검토되어 이에 대한 적용방안이 소요비용과 함께 ISP에 제시되어야 한다.

IPS는 환경분석, 현황분석, 정보화 비전 및 전략수립, 목표모델 설계, 통합이행계획의 단계를 거쳐 수행된다 [그림 4-1]. 외부환경, 법령·제도, 정보기술동향 등의 분석을 통해 정보시스템 구축 환경에 대한 분석을 수행하며, 기관의 업무 및 정보기술의 현황과 구축하고자 하는 정보시스템과 관련 있는 선진사례를 조사하여 이슈와 개선과제를 도출한다. 환경과 현황 분석 결과를 바탕으로 정보화 비전, 목표, 단계별 실행전략 등을 수립한 후 목표 모델의 시스템 구조, 데이터 구조, 기술 및 보안 구조 등을 설계한다. 다음으로 구축비를 산출하고 정보 시스템 간의 통합 전략 및 기대효과 등을 분석한다.

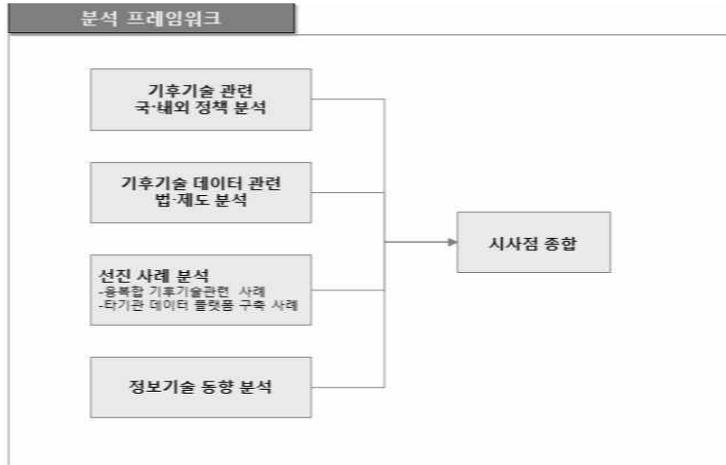
[그림 4-1] 정보화전략계획(ISP) 구성 단계



112) 정보화전략계획(ISP) 수립 공통가이드 (제5판)

융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 구축을 위해 전술한 ISP 수립 단계를 거쳐 최종결과물을 산출하였다. 환경분석을 위해 국내·외 기후기술 관련 정책, 기후기술 데이터 관련 법·제도, 융·복합 기후기술 혹은 데이터 플랫폼 구축 관련 선진사례, 정보기술 동향 등을 조사하여 시사점을 도출하였다 [그림 4-2].

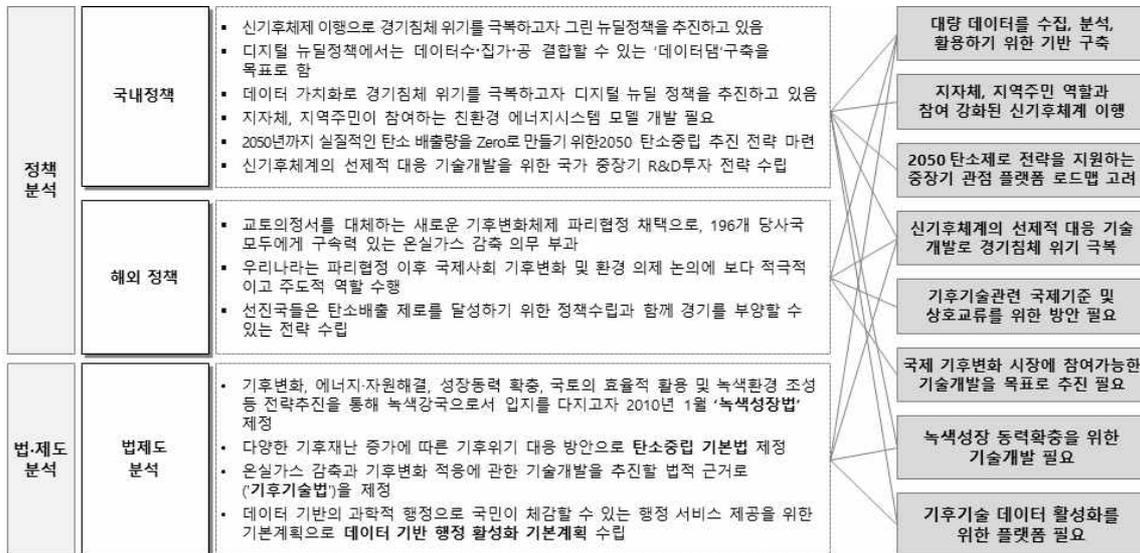
[그림 4-2] 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼 ISP의 환경분석 추진 체계



출처 : 융·복합 기후기술 데이터플랫폼 정보화전략계획(ISP) 및 구축 기획 용역 보고자료 (2021)

그 결과 본 과제에서 구축하고자 하는 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼은 정부가 추진하고 있는 ①2050 탄소중립 달성을 지원하며, ②기후위기 대응을 위한 융·복합 기후기술 개발을 위해 기후기술과 관련된 표준화되고 누구나 활용가능한 데이터를 제공하며, ③산·학·연·관은 물론 국민 누구나 참여하고 활용가능한 개방형 데이터 플랫폼의 구조를 갖추어야 한다. ④또한 빅데이터 및 인공지능 등 최신의 IT 기술을 활용하여 플랫폼이 지속 가능토록 해야 한다.

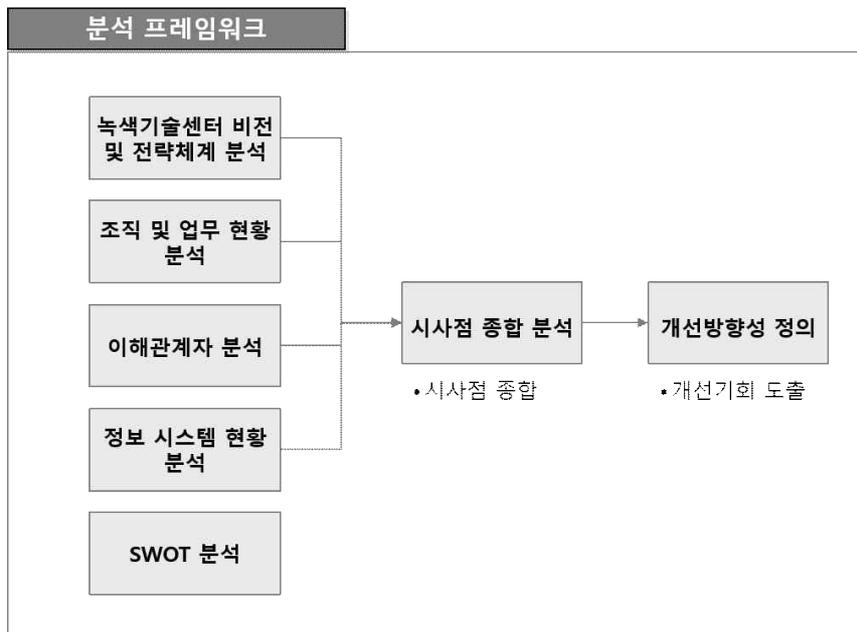
[그림 4-3] 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼 환경 분석 시사점 도출(안)



선진 사례 분석	융복합 기후기술관련 사례	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCUS기술은 온실가스 배출량 제로를 가능하게 하는 유일한 기술로 부각확보</li> <li>에너지 효율화를 위한 에너지-CCUS 통합한 국내 연구개발 및 정책 필요</li> <li>신재생에너지 발전설비와 통신기술을 통합하고 머신러닝 기술 융합으로 신재생 에너지 발전설비 관리 솔루션 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 분야 외 다른 분야의 융·복합 기후기술 사례 미비</li> <li>일반국민 누구나 활용 가능한 개방형 데이터 플랫폼 필요</li> <li>플랫폼의 적극적 홍보를 통한 방문/활용도 유도 필요</li> <li>데이터 표준화로 다양한 분야 데이터 융합 및 데이터 품질 보장 필요</li> <li>지속 가능한 인공지능 기반 데이터 플랫폼 필요</li> <li>빅데이터 및 인공지능 기술 적용을 위한 IT 자원의 탄력적 관리 필요</li> <li>데이터 플랫폼의 고도화된 성능을 위해 인공지능 기술 적용 필요</li> </ul>
	타기관 데이터 플랫폼 구축 사례	<ul style="list-style-type: none"> <li>다양한 분야의 데이터 융합서비스와 데이터를 융합 분석할 수 있는 환경제공</li> <li>환경관련 방대한 데이터 포털 기능/ 플랫폼의 구축 목적과 사용대상, 실질적 서비스 및 활용성을 상세하게 설계하여 구축되어 있음</li> <li>대국민 개방 서비스 및 데이터 유통 체계 구축</li> <li>플랫폼에 대한 사용자 이해와 활용을 위한 홍보 / AI를 활용한 특화 서비스 제공</li> </ul>	
정보 기술 융합 분석	빅데이터	<ul style="list-style-type: none"> <li>방대한 양의 텍스트 기반 비정형 데이터 수집·가공·분석·활용에 장점</li> <li>텍스트 기반 비정형 데이터 분석기술은 지속적으로 성장, 적용사례가 많아짐</li> <li>데이터 가치 극대화 및 데이터 품질을 보장할 수 있는 데이터 표준화 강조</li> </ul>	
	클라우드	<ul style="list-style-type: none"> <li>IT 자원의 탄력적 공유, 서버시간, 네트워크 저장장치 등의 컴퓨팅 기능의 자동화</li> <li>컴퓨팅 자원은 다중 사용자에게 제공되기 위해 풀 형태로 유지되며, 다양한 물리적 또는 가상적 자원이 사용자 요구에 따라 동적으로 할당 또는 재할당</li> </ul>	
	데이터 개방	<ul style="list-style-type: none"> <li>빅데이터 플랫폼 구축과 거래 체계 지원을 통해 데이터 플랫폼 중심의 거래 활성화를 위한 데이터 개방 기술 발전</li> </ul>	
	AI	<ul style="list-style-type: none"> <li>챗봇은 복잡한 질문에도 응답할 수 있고 자기학습도 가능하여 도입시 인건비를 절약하고 업무시간에 상관없이 서비스를 제공하여 반복적인 민원업무를 효율적으로 대응하여 챗봇의 적극적 도입 트렌드</li> <li>딥러닝 기술 기반의 자연어 처리 기술이 지속적으로 성장하고 있음</li> </ul>	

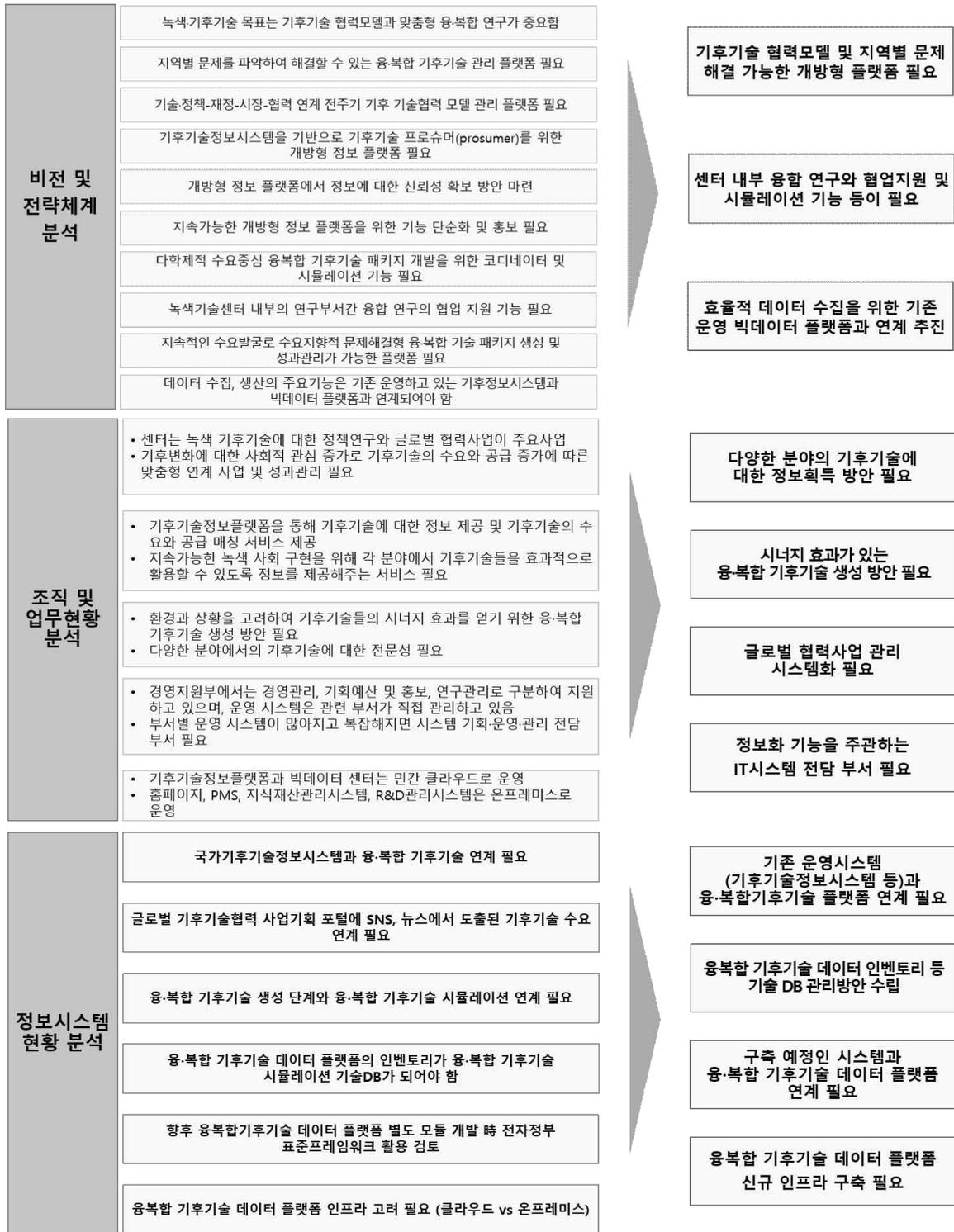
다음으로 녹색기술센터 비전·목표, 전략체계 분석, 조직 및 업무현황 분석, 이해관계자 인터뷰, 정보시스템 현황 분석 등을 통해 목표 시스템 설계의 추진 방향성을 정의하였다.

[그림 4-4] 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼 ISP의 현황분석 추진체계



녹색기술센터 비전 및 전략체계, 정보시스템 현황 분석 결과, 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼은 기후기술 협력 모델 및 지역별 문제를 해결할 수 있는 개방형 플랫폼으로서, 센터 내·외부 융합연구의 협업을 지원하면서, 기존 정보자원인 국가기후기술정보시스템(CTIs), 글로벌 기후기술 빅데이터센터, 녹색기술센터 홈페이지 등과 연계하여 추진되어야 하는 방향성을 도출하였다.

[그림 4-5] 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼 ISP의 현황 분석 결과



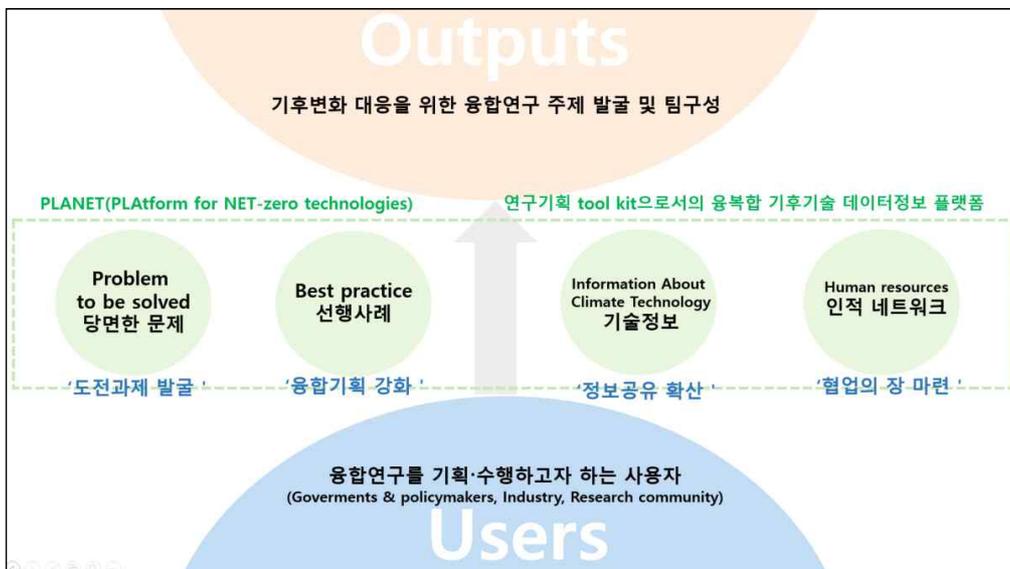
환경분석 및 현황 분석을 종합하여 정보화 추진의 방향성을 아래의 표와 같이 도출하였다.

<표 4-1> 정보화 추진 방향성 도출 결과

정보화 추진 방향성	세부 내용
융·복합 기후기술 데이터 플랫폼 구조 설계	· 데이터 수집·분석·솔루션 도출까지의 분석 시나리오 기반 기능 설계 · 플랫폼 응용 어플리케이션 구성도 및 기능 설계
구축 예정인 정보시스템과 연계	· 전주기형 기후기술협력 기획 포털 · 융·복합 기후기술 시뮬레이션
융·복합 기후기술 관련 데이터 관리방안 수립	· 융복합 기후기술 분류 체계 데이터 관리 방안 · 수집데이터, 분석 결과 마이닝 결과 데이터 관리 방안
융·복합 기후기술 데이터 플랫폼 거버넌스체계 수립	· 데이터 관리 원칙 등 거버넌스 체계 수립 · 데이터 관리 프로세스 설계
플랫폼 운영관리 방안 수립	· 플랫폼 운영관리 조직 기능 설계 · 유지보수 절차 등 운영방안 설계

지난 해 수립된 ISP 결과를 바탕으로 당해연도는 본격적으로 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼의 설계를 진행하였다. 먼저 목표 시스템의 비전과 추진과제를 정의하고 이를 지원하기 위한 기능들을 설계하였다. 최근 국내·외 융합연구의 패러다임이 단순히 이종기술 간의 결합을 넘어 사회 문제 및 과학난제의 해법을 모색하여 혁신적인 결과를 창출하는 방향으로 변화하고 있다. 주요국을 중심으로 과학 난제, 복잡한 사회 문제, 미래 사회로의 급격한 전환 등이 융합연구를 통해 풀고자 하는 주요 융합연구 분야이다. 따라서 본 과제에서 구축하고자 하는 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼도 전세계 대표적 난제 중의 하나인 ‘기후변화’ 라는 문제를 중심에 두고 이를 해결하기 위한 방안으로서 융·복합 기후기술을 도출하고 이를 개발할 수 있는 도구(toolkit)로서의 역할을 수행토록 기획되었다. 나아가 산·학·연·관 등의 다양한 이해관계자가 협력을 통해 온라인 공간에서 기후변화 문제 해결을 위한 융·복합 기후기술 기획·개발·사업화 등을 실현할 수 있는 매개체이자 교류의 공간으로서 기능을 수행코자 한다.

[그림 4-6] 목표 시스템 비전 및 주요 기능



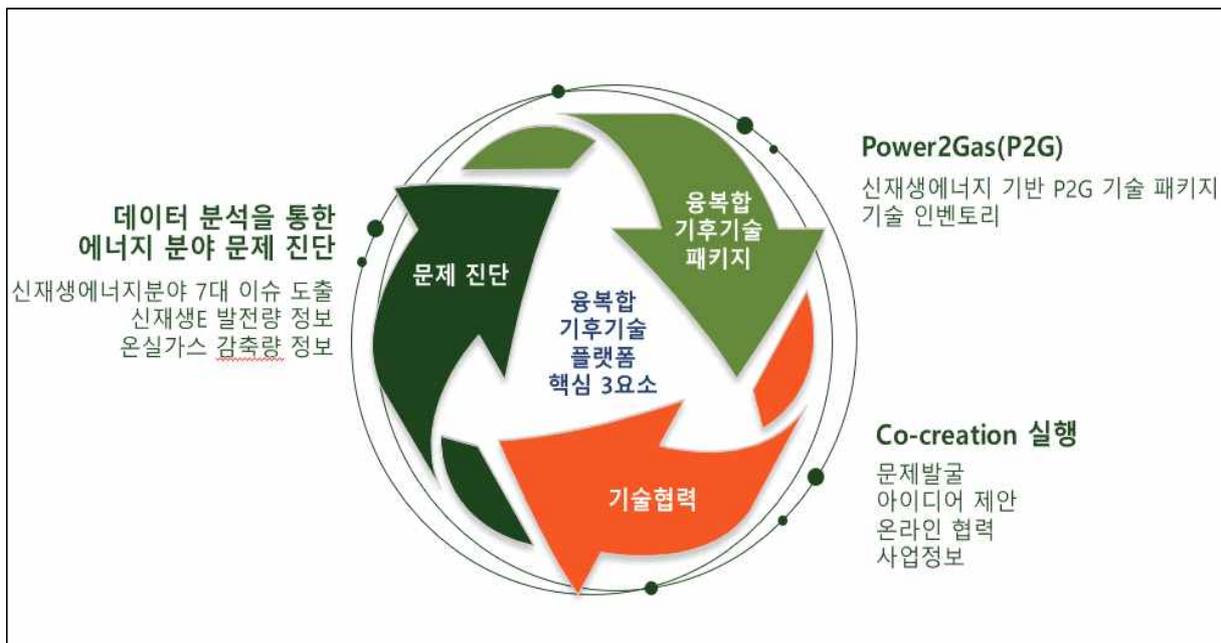
본 과제에서 구축하는 융·복합 기후기술 데이터 플랫폼을 ‘PLANET (PLATform for NET-zero technologies)’ 라 명명하여 플랫폼의 기능에 대한 직관적인 이미지를 전달하고 플랫폼 사용 편의성을 높이고자 하였다.

[그림 4-7] 융·복합 기후기술 데이터·정보플랫폼 명칭 및 로고 디자인



PLANET의 3가지 주요 기능으로 ①문제진단, ②융·복합 기후기술 패키지, ③기술협력을 구축하였으며, 이를 통해 국내·외 기후기술 정보를 공유하고 기후변화대응을 위한 협력을 지원하여 공공 오픈데이터 상호활용을 촉진하고 다학제 개방형 기술협력의 허브 기능을 수행코자 한다.

[그림 4-8] PLANET 구성 핵심 3요소



인간활동에 의한 온실가스 배출로 초래된 기후변화는 현대 사회가 당면한 난제 중 하나로 본 플랫폼에서 중점적으로 다루고자 하는 문제이기도 하다. 본 플랫폼에서는 기후변화와 관련된 현안들을 제시하여 이를 해결하기 위한 융·복합연구 개발의 목표와 방향성 도출을 지원하고

자 한다. 기후변화 관련 현안을 분석하기 위해 신현우 외(2020)는 2016년 1월부터 2020년 7월 까지 작성된 ‘climate change’ 관련 구글 뉴스와 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), EPA(United States Environmental Protection Agency) 등 기후변화 유관 기관들에서 발행한 보고서에 텍스트 마이닝 기법을 적용하여 기후변화와 관련된 키워드를 도출하였다. 그 결과 energy(에너지), water(물), food(식량)과 관련한 키워드가 빈번하게 도출되어 이 세 분야가 기후변화와 관련하여 시급한 현안으로 채택되었다. 이를 바탕으로 당해연도에는 우선적으로 에너지 분야에 중점하여 PLANET 전체 기능을 구축하였다. 기후변화로 인해 야기되는 에너지 분야의 7대 주요 이슈를 파악하고, 태양광 및 풍력 에너지 발전현황, 발전사 및 지자체별 온실가스 배출량 등의 데이터에 기반하여 이슈를 구체화하고, 지자체 에너지 계획 등을 참고하여 지자체별 에너지 관련 정책 현안을 점검할 수 있도록 구축하였다. 이 외에도 기술 간 융·복합을 타진할 수 있는 메뉴를 구축하였다. 에너지 분야의 이슈를 해결하기 위한 기술 솔루션으로 신재생에너지에 기반한 그린수소 생산 시스템 (Power2Gas, P2G) 기술 패키지를 선정하여 이를 구성하고 있는 요소 기술에 대한 정보를 수집하였다. 경제성장과 삶의 질 향상을 동반한 2050 탄소중립을 달성하기 위해 에너지원(原)과 에너지 산업간 섹터 커플링의 중요성이 대두되고 있다. ‘Power-to-X(P2X)’ 로 대표되는 섹터 커플링은 출력제어 외 재생에너지 잉여전력 문제를 해소하기 위해 재생 전력을 열, 가스, 수송 부문의 에너지와 결합해 필요 시 상호 전환·활용하는 기술로서 에너지 분야의 대표적인 융합의 사례라 할 수 있다.

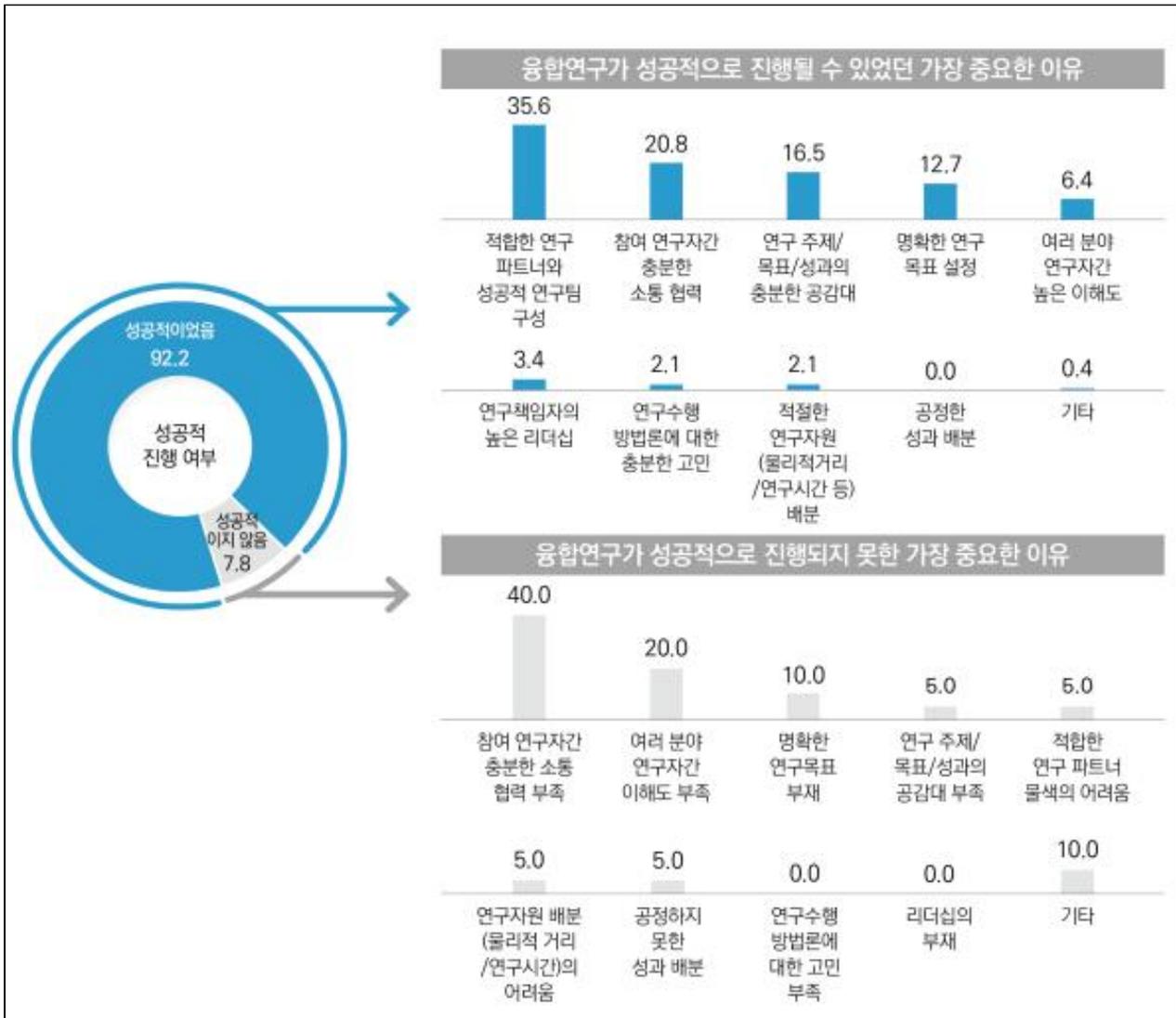
노영희 외(2020)는 융합연구의 활성화를 위해 ①융합연구자 간의 네트워크가 확장되어야 하며, 확장된 네트워크에 기반하여 ②융합 연구자 간의 성과가 공유되고, ③융합연구의 문화적 확산으로 융합연구에 대한 저변이 확대되고, 이를 위해서 ④융합연구에 대한 지원이 확대되어야 한다고 기술하고 있다<sup>113)</sup>. 융합연구 모범 사례에서도 융합연구 개발의 성공요인으로 충분한 소통을 통한 상호유기적인 파트너십 구축, 연구성과의 공유와 확산, 그리고 명확한 목적성 등이 융합연구 개발의 성공요인으로 꼽히고 있다<sup>114)</sup>. 이와 유사하게, 최근 융합연구정책센터에서 융합연구 활동 경험이 있는 산·학·연 연구자, 대학(원)생 등을 대상으로 실시한 ‘융합연구 개발 활성화 설문조사’에서도 자신이 참여한 융합연구가 성공적으로 진행될 수 있었던 요인으로 ‘적합한 연구파트너와 성공적 연구팀 구성(35.6%)’이 가장 높게 나타났으며, ‘참여 연구자 간 충분한 소통·협력(20.8%)’, ‘연구 주제·목표·성과의 충분한 공감대(16.5%)’를 꼽았다. 반면 융합연구가 성공적으로 진행되지 못한 요인으로 ‘참여연구자간 소통·협력 부족(40.0%)’, ‘여러 연구 분야 연구자간 이해도 부족(20.0%)’, ‘명확한 연구목표 부재(10.0%)’ 등이 조사되었다<sup>115)</sup>.

113) 노영희, 박민수, 이광희 (2020), 융합연구 활성화를 위한 연구 성과와 정책결정의 영향관계에 관한 연구, 한국콘텐츠학회 논문지, Vol. 20, No. 9

114) 한국과학기술연구원 융합연구정책센터 (2014), 융합연구 모범사례집

115) 한국과학기술연구원 융합연구정책센터, 2021년도 융합연구연감

[그림 4-9] 참여한 융합연구의 성공적 진행 여부



출처: 융합연구연감 (2021)

이처럼 융합기술의 혁신 시스템이 작동하기 위해서는 참여 연구자 간의 상호작용을 통한 긴밀한 협력이 매우 중요하다. 그러나 학문 간 진입 장벽이 높을 뿐 아니라 분야별로 사용하는 전문용어의 상이함으로 인해 참여 연구자 간의 소통이 현실적인 어려움에 부딪히게 된다. 따라서 본 플랫폼에서는 연구자간의 자유로운 상호작용을 통해 융합기술의 혁신환경을 제공하기 위하여 온라인 협력 공간을 구축하였다.

PLANET은 기본적으로 안정적 확장성과 연계성을 고려하여 시스템을 구축하였고 사용자 편의성 제고를 위해 데이터 표준화를 우선시하여 활용도 높은 플랫폼이 되도록 기능을 구성하였다. 당해연도 구축된 메뉴로 ‘기후문제’, ‘데이터Lab’, ‘융·복합기술’, ‘온라인협력’이 있으며, 각 메뉴별 하위 메뉴는 [그림 4-10]과 같으며, 각 메뉴별 기능은 <표 4-2>에 간략하게 설명되었다.

[그림 4-10] PLANET 시스템 구성도



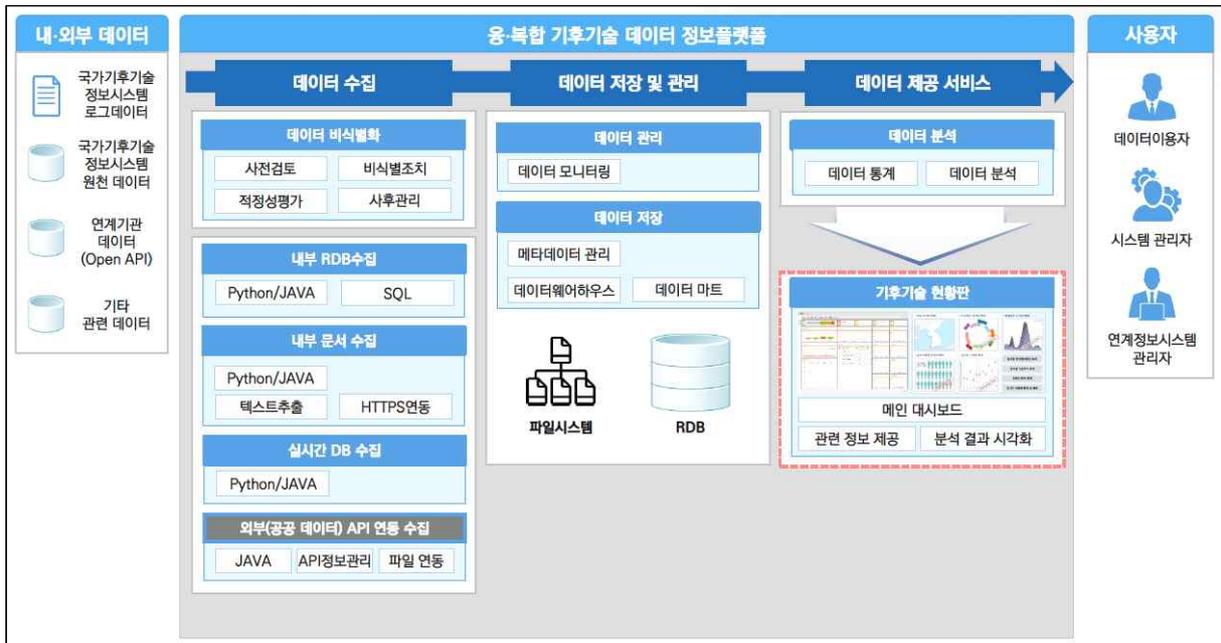
<표 4-2> PLANET 메뉴 및 기능

대메뉴	중메뉴	기능
기후문제	에너지	기후변화의 영향이 가장 큰 분야별 이슈 상세 내용 제공
데이터Lab	My 발전소	사용자가 원하는 위치에서의 예상 태양광(풍력) 발전량, 잠재 그린수소 생산량, 지역별·회사별 발전량 및 온실가스 배출량, 태양광(풍력) 발전에 따른 지역별 온실가스 감축량, 지자체 에너지 계획 등의 정보 제공
	신재생에너지 발전현황	태양광 발전소 운영 현황 및 시계열 발전량 제공 사용자가 원하는 시간 단위를 선택하여 발전량 확인
	발전량 및 온실가스 배출량	6개 한전 자회사 별 온실가스 배출량, 지역별 재생 에너지 발전량 및 온실가스 감축량을 제공
	지자체 에너지 계획	17개 광역 지자체별 에너지 비전, 목표 및 정책제공
융·복합기술	기술 패키지	기후 변화와 관련하여 새롭게 제안되거나 유망한 기술분야 및 융·복합 기술 소개 및 패키지 구성 기술에 대한 설명 제공
	기술 인벤토리	융·복합 기후기술 패키지를 구성하는 세부기술 리스트로 온실가스 감축과 적응 측면에서 활용 가능한 각 기술들에 대한 상세한 정보 제공
	융·복합실증사례	발전규모 100kW 이상의 국내 융·복합 기후기술 실증사업 정보를 제공
	국외융복합사례	국외 융·복합 기후기술 개발 동향 정보
온라인협력	기후문제제기	기후변화로 야기되는 문제 공유
	융복합기술제안	문제해결을 위한 신규 융·복합 기술 제안
	신규사업정보	NTIS 및 조달청 연계 최신 융합 사업 정보 제공
	협력제안	융·복합 기술개발 주기에 따른 사용자 커뮤니티 공간

또한 PLANET은 기후기술 데이터 수집·처리·분석결과 개방까지 아우르는 데이터 제공 시스템으로 에너지 이슈, 태양광, 풍력 발전 등의 신재생 에너지, 융·복합 패키지, 기술 인벤토리, 융·복합 사업정보 DB를 구축하고 각 정보 활용체계를 구조화하였다.

녹색기술센터의 국가기후기술정보시스템(CTis)과 연계하여 구축되는 PLANET은 CTis에 가입되어 있는 사용자라면 누구나 별도의 가입절차 없이 CTis와 동일한 계정으로 PLANET에 접속할 수 있다. ‘온라인 협력’ 메뉴를 제외한 ‘기후문제’, ‘데이터Lab’, ‘융합기술’은 로그인하지 않은 사용자도 열람이 가능하며, 플랫폼에 로그인한 사용자는 데이터 다운로드가 가능하고 원하는 페이지를 스크랩할 수 있다. PLANET의 메뉴는 크게 사용자와 관리자 모드로 구분된다. 또한 공공기관의 정보화 사업 추진 시 보안인증을 받은 민간 클라우드 업체를 사용하도록 하는 정부 지침에 클라우드에 기반하여 시스템이 운영되는 것을 고려하여 정보화 환경을 설계하였다.

[그림 4-11] PLANET 데이터 수집 및 활용 프로세스 모식도



[그림 4-12] PLANET 메인 화면 PC 버전(좌)과 모바일 버전(우)

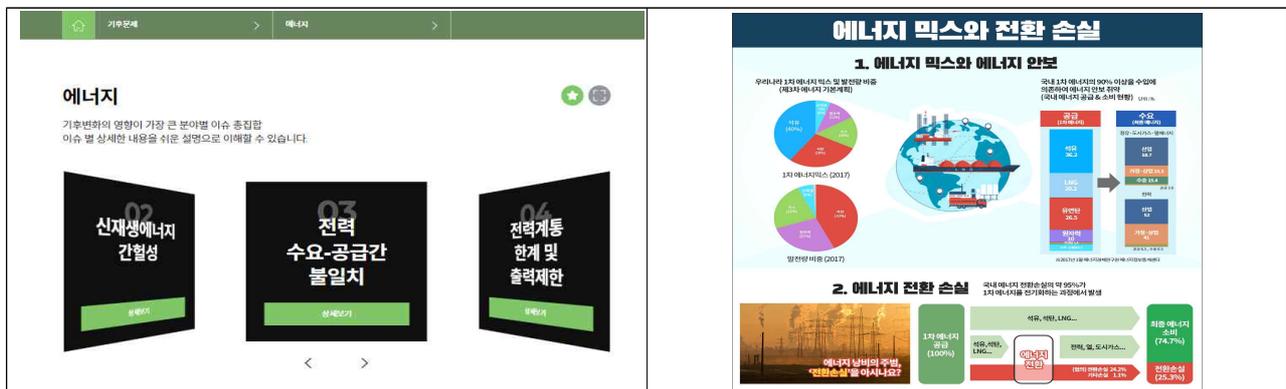


## 제 2 절 기후변화 주요 이슈 분석을 통한 융·복합 연구 방향 제시

기후변화, 고령화, 디지털 사회로의 전환 등의 난제 발굴은 융합연구의 중요한 시발점이다. 미국 국립과학재단 (National Science Foundation, NSF)은 2016년부터 10대 빅 아이디어 (Big Ideas) 사업, 미래 혁신 아이디어 (NSF 2026 Idea Machine) 경진대회 등을 통해 향후 장기적인 연구 의제로서 과제들을 모색하고 있다. 2020년부터 시행되고 있는 과기정통부의 과학난제도전 융합연구개발사업은 인류 공동의 난제 해결을 위해 기초과학과 공학 간의 융합을 도모한다. 동 사업에서 수행되는 선도형 융합연구를 위해 ‘과학난제도전 협력지원단’을 조성하여 한국형 과학난제 발굴 체제를 확립하고 융합연구의 수행을 지원한다. 이처럼 융합을 통한 문제 해결 혁신을 일으키기 위해서는 문제에 대한 명확한 정의, 문제 현황 및 사례 조사, 대응 방안 분석 및 진단 등이 출발점 역할을 해야 한다.

탄소중립 뿐 아니라 러시아-우크라이나 사태가 장기화됨에 따라 글로벌 에너지 공급망이 불안해지면서 국가 안보 측면에서 에너지의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 또한 지난 2022년 7월에 발표된 ‘새정부 에너지정책 방향’의 3대 목표로 ‘원전비중 확대’, ‘화석연료 수입 의존도 감소’, ‘에너지혁신벤처기업 성장’을 수립하여, 원전, 재생, 수소에너지의 조화를 통해 화석에너지 비중을 감소시키고 에너지 분야 신산업 창출 및 수출산업화하여 2030년까지 에너지 혁신벤처 분야 일자리를 약 10만 개 창출할 것을 기대하고 있다. ‘새정부 에너지정책’에 따라 화석연료 수입의존도를 2021년 81.8%에서 2030년까지 60%대로 감소시키고자 하는 목표를 달성하기 위해서는 원전 뿐만 아니라 신재생에너지 발전 비중의 확대가 필연적이다. 태양광, 풍력 등 신재생에너지는 탄소배출이 없고 무한하다는 장점은 있지만 간헐성, 계통안정화 등의 문제를 안고 있다. 따라서 동 보고서 제3장 1절에서 분석한 에너지 분야 7개 이슈를 PLANET에 사용자 편의성을 고려하여 인포그래픽 등을 활용하여 재구성하였다. 이를 통해 사용자 하여금 당면한 에너지 분야의 주요 이슈를 파악하고 이를 해결하기 위한 다양한 기술 솔루션을 모색토록 한다. 기후문제는 융·복합 기후기술이 제안되고 개발되는 주요 동인이므로, ‘기후문제’라는 별도 메뉴 생성 외에 메인 화면에 에너지 분야의 7개 이슈를 노출시켜 기후문제의 중요성을 강조하였다. ‘기후문제’ 메뉴는 향후 에너지 분야 뿐 아니라 물, 식량 등의 분야의 이슈에 대해서도 향후 추가 될 수 있도록 확장성을 고려하여 시스템을 구축하였다.

[그림 4-13] PLANET 메인 화면 및 기후문제 메뉴 내 에너지믹스와 전환손실 이슈 인포그래픽 예시



### 제 3 절 기후기술 데이터 수집 및 정보제공을 위한 데이터Lab 서비스

PLANET 플랫폼의 데이터Lab 메뉴에서는 사용자가 원하는 위치에서의 예상 태양광 발전량, 잠재 그린수소 생산량, 지역별·회사별 발전량 및 온실가스 배출량, 태양광 및 풍력 발전에 따른 지역별 온실가스 감축량, 지자체 에너지 계획 등의 자료를 제공한다. 데이터Lab 메뉴는 크게 4개의 하위메뉴인 「My발전소」, 「신재생에너지 발전현황」, 「발전량 및 온실가스 배출량」, 그리고 「지자체 에너지 계획」 메뉴로 구성되어 있다. 사용자가 직관적으로 데이터Lab을 활용할 수 있도록 지도 기반의 메인화면을 제공하며 사용자가 자유롭게 발전소 위치 및 데이터 기간 등을 선택할 수 있도록 구성하여 필요한 정보를 테이블과 그래프로 쉽게 확인할 수 있다. 본 절에서는 데이터Lab에서 활용한 데이터의 출처, 수집 과정, 기간, 정제 방법 및 데이터 활용 방법에 대하여 설명하고자 한다. 지역별·회사별 발전량 및 온실가스 배출량 등 플랫폼에서 표출되는 모든 데이터는 각 자료 출처에서 최신 업데이트되는 데이터를 실시간으로 수집 및 갱신하여 시의성을 유지할 수 있도록 구성하였다.

데이터Lab에 활용한 모든 원 데이터(Raw data)는 플랫폼에 활용할 수 있는 형식의 정제된 형식의 데이터로 변환하여 사용자에게 제공하고 있다.

#### 1. 데이터 표준화 정의 및 필요성

##### 가. 데이터 표준화 정의

“공공기관의 데이터베이스 표준화 지침”의 제2조 제4항에 따르면 표준화란 “코드, 용어, 도메인, 메타데이터, 데이터셋 등의 표준을 수립하여 공공데이터베이스에 일관되게 적용하는 일련의 활동”이라고 정의한다<sup>116)</sup> (공공기관의 데이터베이스 표준화 지침 제2조 제4항). 다시 말해 데이터 표준화란 특정 정보들을 컴퓨터로 관리하기 위해서 데이터베이스에 저장하는 과정으로 정보의 종류, 용어 및 형식 등을 특정한 기준에 따라 표준화하는 작업을 의미한다.

##### 나. 데이터 표준화(Standardization)의 필요성

많은 양의 데이터를 컴퓨터를 통해 분석 또는 처리하기 위해서는 기계가 읽을 수 있는 (machine-readable) 형식을 유지하는 것이 중요하다<sup>117)</sup>. 그렇지 않으면 데이터 추가 및 제거, 열 또는 행 방향 병합 등의 단순한 작업일지라도 컴퓨터가 처리할 수 없다. “DATA STANDARDIZATION”이라는 책에서는 데이터 표준화를 통해 메타데이터의 불확실성, 데이터 변환 시 발생할 수 있는 장애 요소, 누락 데이터로 인해 발생하는 오류 등을 최소화하는 이점이 있다고 설명하였다<sup>118)</sup>. 또 다른 데이터 관리 관련 서적에서는 다양한 데이터셋을 반복적으로 처리하기 위해서 데이터의 형식을 일관되게 관리하는 것이 필수적이라고 강조하고 있다<sup>119)</sup>.

116) 공공기관의 데이터베이스 표준화 지침. 행정안전부고시 제2021-32호

117) Ritz, D. (2022). Readability in Modern Data Policy

118) Gal, M. S. & Rubinfeld, D. L. (2019). Data Standardization

119) Briney, K. (2015). Data Management for Researchers: Organize, maintain and share your data for research success

### 다. 공공 신재생에너지 기반 전기 발전량 표준화 데이터의 부재

앞에서 강조한 데이터 표준화의 필요성에도 불구하고 국내에서는 공공으로 개방된 신재생에너지 기반 전기 발전량과 관련한 데이터들은 표준화가 되어 있지 않아 원 데이터를 그대로 활용하기 어려운 실정이다. 한국전력의 자회사 및 전력과 관련된 공기업들은 신재생에너지를 포함한 다양한 연료 기반의 전기 발전량을 공공데이터포털(data.go.kr)에 주기적으로 제공하고 있다<sup>120)</sup>. 데이터 유무에 따라 시간별, 월간, 연간 신재생에너지 기반 전기발전량 등이 제공되어 있다. 하지만 데이터 형식이 발전사 별로 다양한데 이는 발전사들에게 데이터 관리 및 표준화에 대한 의무 및 명확한 기준이 없기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 신재생에너지 보급 현황과 성능을 파악하기 위해서는 신재생에너지 발전량 데이터가 핵심요소이기 때문에, 표준화 데이터의 부재는 신재생에너지 현황 분석에 있어서 걸림돌이 될 수 있다. 이로 인해 데이터 분석의 결과의 불확실성이 커질 수 있고, 이후 관련 정책 및 연구의 방향성을 결정할 때 더 큰 장애 요소로 작용할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 공공데이터포털을 통해 개방·제공되고 있는 신재생에너지 발전량을 표준화하는 프레임워크를 제시하고, 표준화된 데이터를 플랫폼을 통해서 다양한 형식으로 제공하고자 한다. 또한 데이터 시각화와 분석 기능을 사용자에게 제공함으로써 사용자의 편의를 도모하고 표준화 데이터의 중요성을 고취하고자 하였다.

## 2. 신재생에너지 발전량 데이터 표준화 과정

### 가. 신재생에너지 발전량 원 데이터 수집

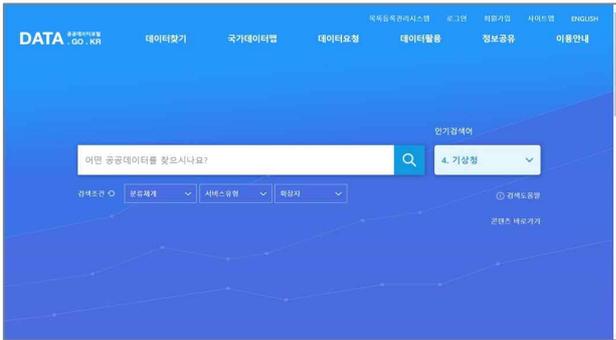
본 연구에서는 데이터 정보플랫폼을 구축하기 위해 공공데이터포털에 공개되어있는 태양광 및 풍력 발전의 시간별 발전량 데이터를 중점적으로 수집했다. 일반적으로 시간별 발전량 데이터를 기록하는 장치는 일정 규모 이상의 발전소에 설치되어 있다. 따라서 본 연구에서는 신재생에너지 발전량 데이터 수집의 범위를 한국남동발전, 한국남부발전, 한국서부발전, 한국동서발전, 한국중부발전, 한국농어촌공사, 한국지역난방공사 등이 운영하거나 소유하고 있는 태양광 및 풍력 발전소의 전기 발전량 데이터로 한정하였다.

[그림 4-14]는 공공데이터포털에서 신재생에너지 발전량 원 데이터(Raw data)를 수집하는 과정의 예시를 보여준다. 발전사에 따라 원 데이터 수집에 필요한 단계가 약간은 다를 수 있으나 큰 차이는 없다. 이 공공데이터포털을 통해 발전사들은 시간별, 월별, 연간 신재생에너지 발전량 데이터를 주기적으로 제공하지만, 파일명이 발전사에 따라 각각 다르고 같은 발전사 내에서도 발전소에 따라 다른 경우가 있기 때문에 데이터 수집의 모든 단계를 수작업으로 진행하였다.

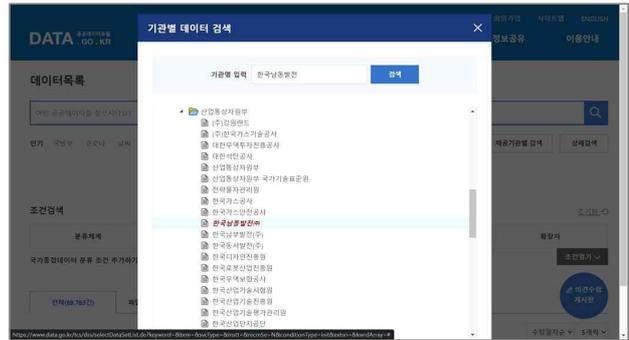
120) 공공데이터포털, <https://www.data.go.kr/>

[그림 4-14] 공공데이터포털(data.go.kr)에서 시간별 태양광 발전량 원 데이터 수집 과정 예시

Step 1. 공공데이터포털 초기 화면



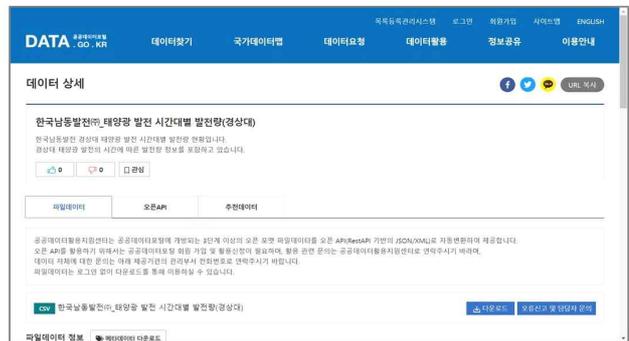
Step 2. 기관 선택 (예시: 한국남동발전)



Step 3. “태양광” 키워드 검색



Step 4. 태양광 발전소 선택 후 시간별 발전량 데이터 다운로드



나. 신재생에너지 발전량 원 데이터 형식

공공데이터포털에 공개되어있는 태양광 및 풍력 발전의 시간별 발전량 원 데이터의 형식이 일정하지 않다. 파일 확장자 또한 제공하는 발전사에 따라 “.csv” 또는 “.xlsx” 로 상이하다. [그림 4-15]는 한국남동발전, 한국남부발전, 한국서부발전, [그림 4-16]는 한국농어촌공사, 한국동서발전, 한국중부발전, 한국지역난방공사에서 제공하는 각 태양광 발전량 데이터 형식의 예시를 보여준다. 한국남동발전, 한국남부발전, 한국서부발전, 한국농어촌공사의 경우에는 시간별 발전량 데이터가 행 방향(가로 방향)으로 나열되어 있지만, 한국동서발전, 한국중부발전, 한국지역난방공사의 경우에는 열 방향(세로 방향)으로 데이터가 나열되어 있다. 한국남동발전, 한국남부발전, 한국서부발전, 한국농어촌공사의 데이터 형식은 비슷해 보이지만 열 이름(column name)이 다르다. 예를 들어 한국남동발전의 경우에는 “평균”이라는 열이 있는 반면에, 한국남부발전의 경우에는 “평균 (kW)”이라는 열을 사용하고 있다. 사람의 경우에는 이 두 가지 열이 같은 것을 뜻하는 것임을 알 수 있지만 컴퓨터의 경우에는 이들을 같은 의미로 인식하지 못한다. 한편 한국동서발전은 시간별 발전량이 아닌 월간 발전량만 제공한다. 그리고 한국중부발전은 API를 통해 데이터를 제공하는데, 각 시간대에 다양한 에너지원(태양광, 수력, 연료전지 등)으로부터 발생하는 전기에너지양을 모두 포함하고 있어 태양광 또는 풍력 발전소에 해당하는 데이터만 추출하는 작업을 추가로 진행하였다.

[그림 4-15] 발전사별 신재생에너지 기반 전기발전량 원 데이터 형식  
(1) 한국남동발전, (2) 한국남부발전, (3) 한국서부발전

(1) 한국남동발전 데이터 형식

년월일	호기	구분	총량	평균	최대	최소	최대(시간별)	최소(시간별)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2020-07-01	1	발전량	3571.92	149	547.92	0	547.92	1.44	0	0	0	0	0	6.48	61.2	140.4	207.36	343.44	547.92	530.64	361.44	281.52	255.6	468	274.32	67.68	24.48	1.44	0	0	0	0
2020-07-02	1	발전량	2989.44	125	408.24	0	408.24	2.16	0	0	0	0	0	2.16	54.72	159.12	243.36	408.24	298.08	308.16	265.68	270	185.76	257.04	310.32	152.64	70.56	3.6	0	0	0	0
2020-07-03	1	발전량	1133.28	47	205.2	0	205.2	0.72	0	0	0	0	0	0.72	23.76	56.16	82.8	97.2	<b>열 방향</b>													
2020-07-04	1	발전량	2354.4	98	370.08	0	370.08	0.72	0	0	0	0	0	0.72	38.88	133.92	221.76	240.48	<b>열 방향</b>													
2020-07-05	1	발전량	3003.8	125	408.96	0	408.96	2.88	0	0	0	0	0	2.88	38.16	92.16	123.84	194.4	264.96	342	376.56	408.96	390.24	331.92	221.04	165.6	44.64	6.48	0	0	0	0
2020-07-06	1	발전량	931.68	39	155.52	0	155.52	2.16	0	0	0	0	0	0	10.8	36.72	81.36	98.64	149.76	77.04	155.52	99.36	61.2	56.16	46.08	35.28	21.6	2.16	0	0	0	0

(2) 한국남부발전 데이터 형식

년월일	호기	총량(kw)	평균(kw)	최대(kw)	최소(kw)	최대(시간별_kw)	최소(시간별_kw)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
2021-05-01	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2021-05-02	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-04	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-05	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-06	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-07	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-08	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-09	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021-05-13	1	354.348	14.765	162.711	0	162.711	0.723	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2021-05-14	1	2742.214	114.259	562.617	0	562.617	2.169	0	0	0	0	0	0	5.785	36.881	111.366	330.483	323.975	42.258	510.549	62.617	271.184	42.258	72.316	30.373	2.169	0	0	0	0	0	0	

(3) 한국서부발전 데이터 형식

발전기명	년월일	설비용량(MW)	01시	02시	03시	04시	05시	06시	07시	08시	09시	10시	11시	12시	13시	14시	15시	16시	17시	18시	19시	20시	21시	22시	23시	24시	
영암에프원태양광	2017-01-01	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	547200	3484800	3350400	7929600	8697600	8236800	7344000	5155200	2131200	134400	0	0	0	0	0	0	0
영암에프원태양광	2017-01-02	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	345600	1948800	6211200	7334400	8332800	7286400	6355200	4512000	1584000	76800	0	0	0	0	0	0	0
영암에프원태양광	2017-01-03	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	960000	2465600	6188800	8233600	8338400	8238400	7411200	5256800	2332800	163200	0	0	0	0	0	0	0
영암에프원태양광	2017-01-04	13.296	0	0	0	0	0	0	0	9600	777600	2438400	3830400	<b>열 방향</b>													
영암에프원태양광	2017-01-05	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	432000	1017600	1152000	<b>열 방향</b>													
영암에프원태양광	2017-01-06	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	403200	3177600	3619200	<b>열 방향</b>													
영암에프원태양광	2017-01-07	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	422400	1478400	2563200	2227200	1432800	2287200	1459200	710400	374400	9600	0	0	0	0	0	0	0
영암에프원태양광	2017-01-08	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	537600	1908000	2868800	4176000	7344000	8956800	7968000	3283200	1795200	192000	0	0	0	0	0	0	0
영암에프원태양광	2017-01-09	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	9600	777600	2976000	4464000	4377600	7689600	8304000	5164800	1718400	192000	0	0	0	0	0	0	0
영암에프원태양광	2017-01-10	13.296	0	0	0	0	0	0	0	0	268800	854400	3187200	2323200	3408000	8870400	5232000	4022400	1152000	96000	0	0	0	0	0	0	0

출처: 공공데이터포털 (2022)

[그림 4-16] 발전사별 신재생에너지 기반 전기발전량 원 데이터 형식  
(4) 한국농어촌공사, (5) 한국동서발전, (6) 한국중부발전, (7) 한국지역난방공사

(4) 한국농어촌공사 데이터 형식

월	일	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	24h	계	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6.84	59.52	329.04	196.68	265.2	849.96	600.84	189.84	76.68	8.16	0	0	0	0	0	0	0	2583
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17.04	237.6	883.8	967.32	971.52	684.36	606.72	518.88	155.4	10.08	0	0	0	0	0	0	0	5053
1	3	0	0	0	0	0	0	0	0.24	48.6	458.64	965.76	1258.68	1240.2	1308.12	1186.68	687.84	148.44	11.04	0	0	0	0	0	0	0	7314
1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8.28	40.92	1.08	42	190.92	227.28	108.72	49.56	19.44	0	0	0	0	0	0	0	0	1040
1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.28	40.92	708.6	205.08	11.4	0	0	0	0	0	0	0	0	5163
1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	41.28	439.8	407.76	1334.4	1216.92	778.08	216.48	8.76	0	0	0	0	0	0	0	0	7582
1	7	0	0	0	0	0	0	0	0.48	64.08	407.76	1027.2	818.52	470.52	130.92	14.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6217
1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	7.68	160.32	687	928.44	798.96	286.2	518.04	387.96	83.52	11.64	0	0	0	0	0	0	0	3870
1	9	0	0	0	0	0	0	0	0.12	91.56	335.88	843.72	907.44	668.88	487.2	267	198.96	114.72	13.56	0	0	0	0	0	0	0	3929
1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	37.08	171.48	481.68	1064.88	882	365.28	192	95.28	71.04	3.96	0	0	0	0	0	0	0	3365

(5) 한국동서발전 데이터 형식

날짜	발전기명	설비용량(MW)	일발전량(Wh)
2021-01-01	광양형어울림태양광	0.656	624000
2021-01-02	광양형어울림태양광	0.656	825120
2021-01-03	광양형어울림태양광	0.656	668640
2021-01-04			

다. 신재생에너지 발전량 데이터 표준화 및 데이터베이스 구축

앞에서 공공데이터포털에 공개되어있는 신재생에너지 발전량 원 데이터의 형식이 발전사 별로 각각 다르다는 것을 확인하였다. 데이터 정보 플랫폼 사용자들의 편의를 도모하는 동시에 향후 데이터 업데이트 자동화를 위하여 본 연구에서는 다양한 발전사에서 제공하고 있는 데이터셋을 하나의 통일된 규격으로 표준화하고자 하였다. DATA ON-AIR<sup>121)</sup>에 따르면 데이터 표준화 절차에는 “데이터 표준 정의”가 필요하다. [그림 4-17]과 같이 본 연구에서는 두 개의 열을 가진 데이터 형식을 표준으로 정의하였는데, 좌측 열은 시간을 의미하는 Date 열이고 우측 열은 시간별 신재생에너지 기반 전기발전량을 의미하는 power\_generation(kWh)을 나타낸다. 총 두 개의 열로 통일했지만 각 발전사에서 수집 가능한 데이터 기간의 범위가 모두 다르기 때문에 행의 수는 원 데이터의 기간에 따라 발전소별로 다를 수 있다.

[그림 4-17] 표준화 데이터 예시

Date	power_generation(kWh)	Date	power_generation(kWh)	Date	power_generation(kWh)
2017-01-01 1:00	0	2019-12-03 0:00	0	2020-07-01 0:00	0.0
2017-01-01 2:00	0	2019-12-03 1:00	0	2020-07-01 1:00	0.0
2017-01-01 3:00	0	2019-12-03 2:00	0	2020-07-01 2:00	0.0
2017-01-01 4:00	0	2019-12-03 3:00	0	2020-07-01 3:00	0.0
2017-01-01 5:00	0	2019-12-03 4:00	0	2020-07-01 4:00	0.0
2017-01-01 6:00	0	2019-12-03 5:00	0	2020-07-01 5:00	1.1
2017-01-01 7:00	0	2019-12-03 6:00	0	2020-07-01 6:00	22.7
2017-01-01 8:00	0	2019-12-03 7:00	0.96	2020-07-01 7:00	127.6
2017-01-01 9:00	0	2019-12-03 8:00	13.50	2020-07-01 8:00	208.5
2017-01-01 10:00	10	2019-12-03 9:00	28.93	2020-07-01 9:00	317.2
2017-01-01 11:00	30	2019-12-03 10:00	35.68	2020-07-01 10:00	575.6
2017-01-01 12:00	30	2019-12-03 11:00	86.78	2020-07-01 11:00	618.0
2017-01-01 13:00	40	2019-12-03 12:00	109.92	2020-07-01 12:00	293.1
2017-01-01 14:00	50	2019-12-03 13:00	275.76	2020-07-01 13:00	585.2
2017-01-01 15:00	30	2019-12-03 14:00	158.13	2020-07-01 14:00	412.7
2017-01-01 16:00	20	2019-12-03 15:00	70.39	2020-07-01 15:00	483.5
2017-01-01 17:00	8.4	2019-12-03 16:00	30.86	2020-07-01 16:00	165.1
2017-01-01 18:00	0	2019-12-03 17:00	0	2020-07-01 17:00	45.5
2017-01-01 19:00	0	2019-12-03 18:00	0	2020-07-01 18:00	20.6
2017-01-01 20:00	0	2019-12-03 19:00	0	2020-07-01 19:00	0.0
2017-01-01 21:00	0	2019-12-03 20:00	0	2020-07-01 20:00	0.0
2017-01-01 22:00	0	2019-12-03 21:00	0	2020-07-01 21:00	0.0
2017-01-01 23:00	0	2019-12-03 22:00	0	2020-07-01 22:00	0.0
2017-01-02 0:00	0	2019-12-03 23:00	0	2020-07-01 23:00	0
2017-01-02 1:00	0	2019-12-04 0:00	0	2020-07-02 0:00	0
2017-01-02 2:00	0	2019-12-04 1:00	0	2020-07-02 1:00	0
2017-01-02 3:00	0	2019-12-04 2:00	0	2020-07-02 2:00	0
2017-01-02 4:00	0	2019-12-04 3:00	0	2020-07-02 3:00	0
2017-01-02 5:00	0	2019-12-04 4:00	0	2020-07-02 4:00	0

표준화 작업을 위해서 발전사별로 Python 코드를 각각 작성하였다. [그림 4-18]은 일차적으로 수집된 원 데이터를 표준화하고, 표준화된 데이터를 품질 관리하여 정제된 데이터베이스를 구축하는 등의 전반적인 데이터 관리 과정을 4개 단계의 순서대로 도식화한 것을 보여준다.

121) <https://dataonair.or.kr/db-tech-reference/d-guide/da-guide/?mod=document&uid=269>



데이터 품질 관리(Data quality control)는 크게 두 가지 단계를 통해 진행하였다. 첫 번째 단계는 이상치(outliers)로 판단되는 데이터를 찾는 것이다. 이를 위해 각각의 데이터셋의 시간별 전기 발전량 데이터의 평균값을 활용하였는데, 특정 시간대의 데이터값이 해당 데이터셋 평균값의 네 배 이상일 경우에 그 시간대에 해당하는 행(또는 인덱스)을 플래그(flag) 처리하였다. 두 번째 단계에서는 플래그 처리된 행의 데이터값을 그 행의 앞, 뒤 행의 데이터값의 평균값으로 계산하여 입력하였다. [그림 4-19]는 이러한 데이터 품질 관리를 위해 사용한 Python 코드를 나타낸다.

[그림 4-19] 신재생에너지 기반 시간별 전기 발전량 데이터 품질 관리 Python 코드

```
def quality_control(s):
    if len(s)==0:
        print('There is no data')
    else:
        s['previous']=s['power_generation(kWh)'].shift(-1)
        s['next']=s['power_generation(kWh)'].shift()
        thre_lvl = s['power_generation(kWh)'].replace(0, np.NaN).mean()

        idx_nonflag=s[abs(s['power_generation(kWh)'])<=4*thre_lvl].index
        idx_flag=s[abs(s['power_generation(kWh)'])>4*thre_lvl].index
        #first step
        s.loc[idx_flag,'power_generation(kWh)']=(s.loc[idx_flag,'previous']+s.loc[idx_flag,'next'])/2
        a = np.array(s.loc[idx_nonflag,'power_generation(kWh)'])
        #second step
        idx_flag=s[abs(s['power_generation(kWh)'])>4*thre_lvl].index
        s.loc[idx_flag,'power_generation(kWh)']=np.mean(a[np.nonzero(a)])
        s.drop(columns=['next','previous'], inplace=True)
    return s
```

라. 신재생에너지 기반 발전량 데이터베이스 구축

<표 4-3>은 앞서 설명한 과정을 통하여 구축된 신재생에너지 기반 시간별 전기 발전량 데이터셋의 개수를 보여준다. 태양광 기반 발전량 데이터셋은 총 92개이며 풍력 기반 발전량 데이터셋은 11개이다. 풍력 기반 발전량 데이터셋은 태양광 데이터셋에 비해 상대적으로 수가 적고, 특히 수집된 풍력 데이터가 특정 지역에 집중되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 풍력 데이터 분석을 통해 일반화된 풍력 발전의 경향 및 시사점을 도출하기는 어려울 것으로 판단되며 본 연구에서 제안하는 프레임워크를 태양광 발전 데이터에 중점적으로 접목하여 분석하고자 하였다.

<표 4-3> 신재생에너지 기반 전기 발전량 표준화 데이터셋 요약

	태양광	풍력
표준화된 데이터셋 갯수	92	11

마. 태양광 발전 사업소 총괄 데이터셋 구축

앞에서 구축한 시간별 발전량 데이터를 GIS 지도에 제공하고, 데이터 분석을 진행하기 위해서는 추가적인 정보가 필요하다. 이와 같은 추가적인 정보에는 사업자 이름, 사업소 이름, 사업소 위치, 준공시기, 발전 용량 등이 포함된다. 여기서 사업자는 발전사를 의미한다. 따라서 그동안 구축된 데이터베이스의 사업소에 해당하는 정보들을 추가 수집하였다. 위치에 대한 정보가 제

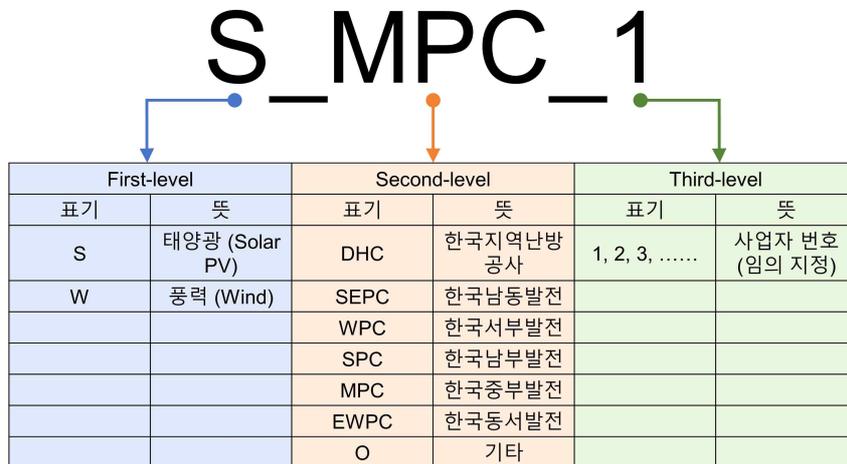
공되어 있지 않은 사업소는 인터넷 지도를 통해 간접적으로 위치를 추정하였다. [그림 4-20]은 상기 정보들이 추가로 포함된 태양광 발전 사업소 총괄 데이터셋의 일부분을 보여준다. 전체 총괄 데이터셋은 [별첨 1]에서 확인할 수 있다.

[그림 4-20] 태양광 발전 사업소 총괄 데이터셋 예시

A	B	C	D	E	F	G	H	I
ID	사업자	사업소	사업소위치 도로명	사업소위치 지번	준공시기	lat	lon	용량 (kW)
2 S_DHC_7	한국지역난방공사	대구태양광	대구광역시 달서대로 351	대구광역시 달서구 대천동 895	2006	35.8273967	128.4923559	110.43
3 S_DHC_8	한국지역난방공사	신안태양광	전라남도 신안군 증도면 대초리 4-1	전라남도 대초리 4-1	2005	34.93976	126.87566	806.4
4 S_NEPC_1	한국남동발전	영동태양광	강원도 강릉시 강동면 염전길 99	강원도 안인리 200	2012	37.73411	128.97262	1066
5 S_NEPC_2	한국남동발전	삼천포태양광#5#1	경상남도 고성군 하이면 하이로 1	경상남도 덕호리 952	2017	34.9067762	128.1510081	3940
6 S_NEPC_3	한국남동발전	삼천포태양광#5#2	경상남도 고성군 하이면 하이로 1	경상남도 덕호리 952	2017	34.9067762	128.1510081	6647
7 S_NEPC_4	한국남동발전	광양항새방태양광	전라남도 광양시 항만 7로 6	전라남도 도이동 815	2017	34.9317936	127.6733496	3097
8 S_NEPC_5	한국남동발전	두산엔진MG태양광	경상남도 창원시 성산구 두산블로로 22	창원시 귀곡동 555	2017	35.17221	128.61398	77
9 S_NEPC_6	한국남동발전	삼천포태양광#1	경상남도 고성군 하이면 하이로 1	경상남도 덕호리 952	2005	34.9067762	128.1510081	100
10 S_NEPC_7	한국남동발전	삼천포태양광#2	경상남도 고성군 하이면 하이로 1	경상남도 덕호리 952	2010	34.9067762	128.1510081	990
11 S_NEPC_8	한국남동발전	삼천포태양광#3	경상남도 고성군 하이면 하이로 1	경상남도 덕호리 952	2012	34.9067762	128.1510081	350
12 S_NEPC_9	한국남동발전	삼천포태양광#4	경상남도 고성군 하이면 하이로 1	경상남도 덕호리 952	2012	34.9067762	128.1510081	1850
13 S_NEPC_10	한국남동발전	구미태양광	경상북도 칠곡군 석적읍 중리 412	경상북도 3공단1로 62-6	2012	36.08052	128.40887	992
14 S_NEPC_11	한국남동발전	영흥태양광#3#1	인천광역시 옹진군 영흥면 영흥남로 293번길	영흥면 외리 1344	2016	37.2532931	126.4642048	3332
15 S_NEPC_12	한국남동발전	영흥태양광#3#2	인천광역시 옹진군 영흥면 영흥남로 293번길	영흥면 외리 1344	2016	37.2532931	126.4642048	1283
16 S_NEPC_13	한국남동발전	영흥태양광#3#3	인천광역시 옹진군 영흥면 영흥남로 293번길	영흥면 외리 1344	2016	37.2532931	126.4642048	1538
17 S_NEPC_14	한국남동발전	영흥태양광#1	인천광역시 옹진군 영흥면 영흥남로 293번길	영흥면 외리 1344	2006	37.2532931	126.4642048	1000
18 S_NEPC_15	한국남동발전	영흥태양광#2	인천광역시 옹진군 영흥면 영흥남로 293번길	영흥면 외리 1344	2014	37.2532931	126.4642048	993
19 S_NEPC_16	한국남동발전	영흥태양광#5	인천광역시 옹진군 영흥면 영흥남로 293번길	영흥면 외리 1344	2020	37.2532931	126.4642048	3504
20 S_NEPC_17	한국남동발전	예천태양광	경상북도 예천군 용문면 선리 산42-6	경상북도 산 66	2010	35.8216391	129.2405665	2000
21 S_NEPC_19	한국남동발전	분사시육태양광	경상남도 진주시 사들로123번길 32	진주시 충무공동 225-5	2012	35.149343	128.1411292	404
22 S_NEPC_22	한국남동발전	경상대태양광	경상남도 진주시 진주대로 501	진주시 가좌동 900	2013	35.1549219	128.1100179	905
23 S_WPC_1	한국서부발전	서인천 발전부지 태양광 2호기	인천 서구 정동로 57	인천광역시 청라동 11-10	2017	37.5476176	126.6059608	90
24 S_WPC_2	한국서부발전	평택발전부지 태양광 1호기	경기도 평택시 포승읍 남양만로 175-2	평택시 원정리 1-21	2017	37.0047036	126.8244115	2220
25 S_WPC_3	한국서부발전	삼랑진 태양광#2	경상남도 밀양시 삼랑진읍 안테리 319	밀양시 안테리 319	2008	35.41344	128.87843	1000
26 S_WPC_4	한국서부발전	군산복합2단계 태양광	전라북도 군산시 구암 3.1로 91-5	군산시 경암동 590-2	2017	35.9827847	126.7321111	686
27 S_WPC_5	한국서부발전	세종시 자전거 태양광		세종특별자치시 용포리 230-9	2012	36.465569	127.2800903	1875
28 S_WPC_6	한국서부발전	세종시세기물태양광		세종특별자치시 고운동 819	2012	36.5139477	127.235702	1628
29 S_WPC_7	한국서부발전	경기도 안산공단 태양광		경기 안산시 단원구 신길동 1082-3	2013	37.3269503	126.7888713	210
30 S_WPC_8	한국서부발전	경기도 안산목내 태양광		안산시 목내동 471-1	2013	37.3093054	126.773386	180
31 S_WPC_9	한국서부발전	경기도 안산성곡 태양광	경기 안산시 단원구 점단로267번길 31	안산시 성곡동 679-2	2013	37.3059192	126.7515965	170

태양광 발전 사업소 총괄 데이터셋의 첫 번째 열은 사업소 ID를 의미한다. 사업소마다 각 ID를 부여한 이유는 앞에서 구축한 데이터베이스(시간별 태양광 발전량 데이터)와 개별 사업소 정보의 연계를 유연하게 만들기 위함이다. [그림 4-21]은 한 사업소의 ID 예시와 ID 지정 규칙을 보여준다. 사업소 ID는 총 세 단계 레벨로 구성되는데, 첫 번째 레벨은 신재생에너지 기술을 의미하고 두 번째 레벨은 사업자를 의미한다. 마지막인 세 번째 레벨은 사업자 번호를 임의 지정한 일련번호로서 기구축한 데이터베이스의 개별 파일에 순서대로 지정되었다.

[그림 4-21] 신재생에너지 사업소 ID 지정 규칙



### 3. 표준화 데이터 활용

데이터Lab의 My발전소 메뉴에서는 앞서 구축한 표준화 데이터를 활용하여 다음과 같은 기능을 지원한다.

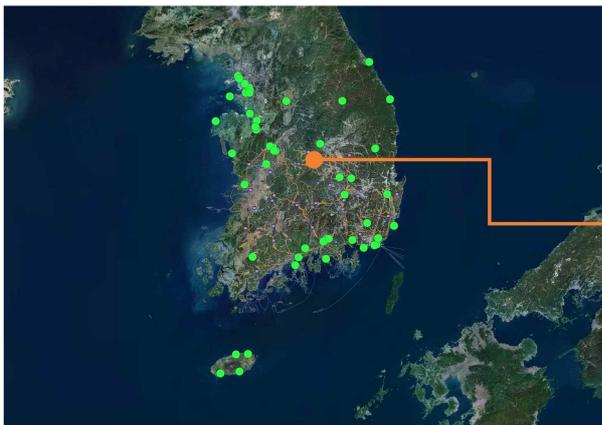
- ▷ 태양광 및 풍력 발전소에 대한 상세 정보
- ▷ 태양광 및 풍력 발전소의 발전량 현황 (시계열 자료)
- ▷ 사용자가 발전소를 설치하고자 하는 위치에서의 예상 태양광 발전량
- ▷ 태양광 발전 사업으로 인한 예상 온실가스 감축량 및 전기(수소)차 전환 효과
- ▷ 예상 잠재 그린수소생산량

#### 가. GIS 기반 태양광 및 풍력 발전소 위치 제공

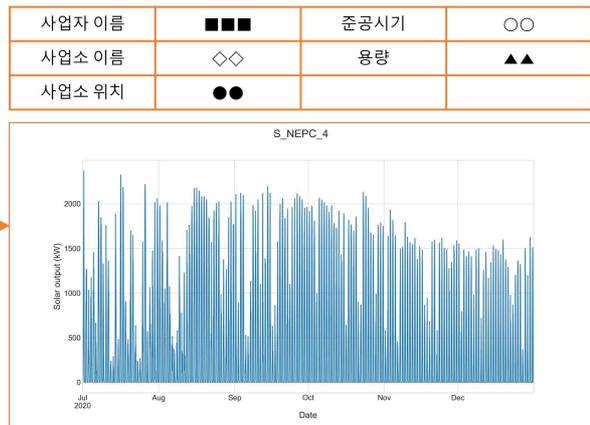
태양광 발전 사업소 총괄 데이터셋에 있는 위도와 경도 정보를 활용하여 실제 태양광 발전소의 위치를 GIS 지도를 통해 사용자에게 제공할 수 있다. [그림 4-22] (1)에서 각각의 포인트는 태양광 발전소(또는 풍력 발전소)의 위치를 의미한다. [그림 4-22] (2)처럼 사용자가 특정 포인트를 선택할 경우, 해당 태양광 발전소의 세부 정보(사업자 이름, 사업소 이름, 사업소 위치, 준공시기, 용량 등)와 해당 태양광 발전소의 시간별 발전량을 확인할 수 있도록 데이터Lab을 구축하였다.

[그림 4-22] GIS 기반 태양광 발전소 위치, 세부 정보, 발전량 제공 예시

(1) 태양광 설치 장소 제공



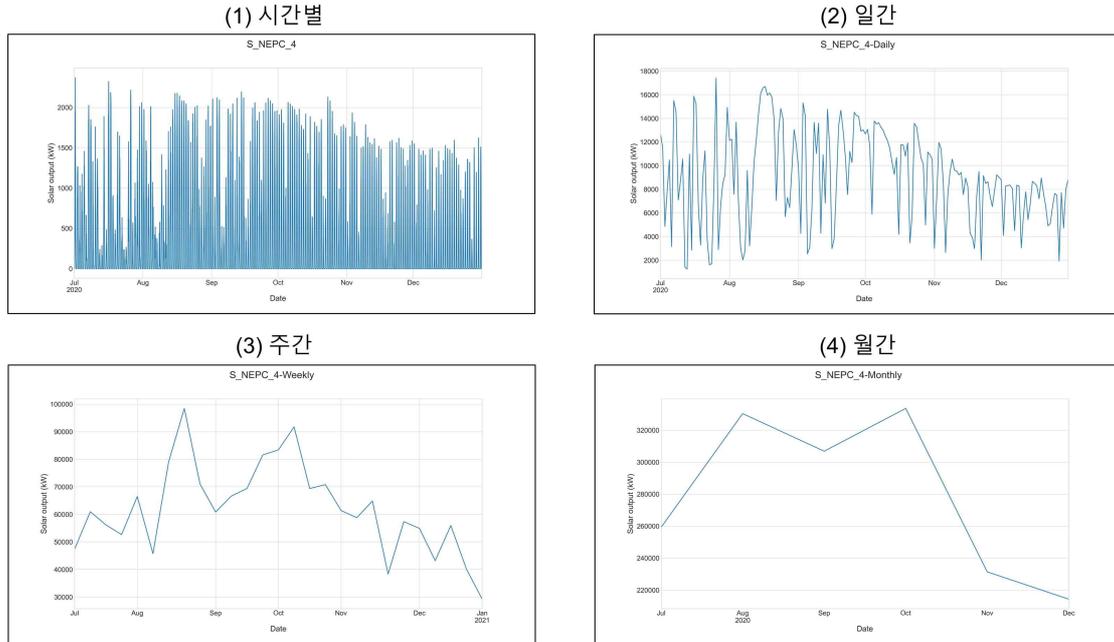
(2) 해당 발전소의 세부 정보 및 태양광 발전량 제공



#### 나. 사용자 선택 기간별 태양광 발전량 현황

표준화한 데이터가 시간 단위이기 때문에 이를 활용하여 일간, 주간, 월간 데이터 등으로 변환할 수 있다. 이러한 기능은 Python의 Pandas 라이브러리의 ‘resample’ 기능을 통해 쉽게 구현 가능하다. [그림 4-23]은 ‘resample’ 기능을 활용하여 재생산한 특정 태양광 발전소의 일간, 주간, 월간 전기 발전량을 보여준다. 플랫폼에서는 사용자가 원하는 기간을 설정하고 그에 해당하는 발전량을 확인할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

[그림 4-23] 기간별 태양광 발전량 예시  
(1) 시간별, (2) 일간, (3) 주간, (4) 월간



다. 과거 데이터 기반 사용자 선정위치에서의 예상 태양광 발전량  
기존의 태양광 발전소의 시간별 발전량 데이터를 활용하면 사용자가 원하는 위치에서의 태양광 발전량을 통계적으로 예상해볼 수 있다. [그림 4-24]는 그 예를 보여주는 것인데, 사용자가 지도 위에서 특정 지역을 임의로 선택했을 때 그 지역으로부터 20 km 반경(반경의 범위는 사용자가 임의로 선택 가능)의 태양광 발전소에서 생산되는 전기 발전량을 확인할 수 있다.

[그림 4-24] 사용자 선정 위치, 반경 및 설치용량에 따른 예상 일 태양광 발전량 산정 예시

Step 1. 사용자 위치 선정 및 반경 선택



Step 2. 설치용량 지정 및 사용자 선정 위치의 예상 일 태양광 발전량 산정



또한 사용자가 선택한 범위 내에 포함된 발전소들의 과거 발전량 데이터를 활용하여 해당 지역에 태양광 발전소를 구축할 경우의 예상 발전량을 대략적으로 추측할 수 있다. 먼저 사용자가 지도상에서 특정 포인트와 범위를 선택하면 해당 범위 내에 포함되는 발전소들의 일 평균 발전량을 산정하게 된다. 그러나 각 발전소의 태양광 발전량은 해당 발전소 설치 용량에 직접적인 영향을 받기 때문에 사용자가 선정한 범위 내에 위치한 발전소의 태양광 설치 용량이 다를 경우에는 예상 발전량을 예측하기가 어렵다. 따라서 설치 용량에 따른 영향을 제거하기 위해서는 각 발전소의 발전량을 Specific yield로 변환하여 정규화(normalization)하는 작업이 필요하다. Specific yield는 특정 기간 내에 단위 설치 용량(kWp) 당 생산 가능한 전력량(kWh)을 의미한다<sup>122)</sup>. 사용자가 만들고자 하는 My발전소의 예상 태양광 발전량 산정 과정은 다음과 같다. 먼저 사용자가 지도상에서 선택한 위치의 반경 내에 포함된 각 발전소의 일 평균 발전량을 해당 발전소의 설치용량으로 나누어 발전소별 단위용량당 발전량을 산정한다.

$$P_{per\ p} = \frac{P_{avd}}{Ca}$$

여기서  $P_{per\ p}$  는 단위용량당 발전량(kWh/kWp),  $P_{avd}$  는 일 평균 발전량(kWh),  $Ca$  는 발전소의 설치용량(kWp)을 의미한다.

각 발전소의 단위용량당 발전량들의 평균값을 계산하여 사용자가 가상으로 구축하고자 하는 My발전소의 예상 Specific yield로 가정하게 된다.

$$Sy_{my} = \frac{\overline{P_{per\ p}}}{n}$$

여기서  $Sy_{my}$  는 My발전소의 예상 Specific yield(kWh/kWp),  $n$  은 사용자 선택 범위 내 발전소 개수를 의미한다. 사용자가 선택한 지역과 범위 내에 발전소가 없는 경우에는 데이터Lab에서 예상 태양광 발전량을 산정할 수 없으므로 1개 이상의 발전소가 포함될 수 있도록 범위를 지정해야 한다. 사용자 선정위치 범위 내에 1개의 발전소만 포함될 경우에는 해당 발전소의 일 평균 발전량을 Specific yield로 적용하며, 2개 이상의 발전소가 포함될 경우에는 각 발전소들의 일 평균 발전량의 평균값을 사용하여 Specific yield로 적용한다.

사용자가 설치하고자 하는 태양광 발전소의 위치 및 범위를 결정하여 Specific yield를 산정하고 나면 해당 위치에 가상으로 설치할 My발전소의 설치용량(kWp)을 입력할 수 있도록 하였다.

$$PG_{my} = Ca_{user} * Sy_{my}$$

여기서  $PG_{my}$  는 My발전소의 예상 태양광 발전량 (kWh),  $Ca_{user}$  는 사용자가 지정하는 My발전소의 설치용량(kWp)을 의미한다.

122) Santos, O. (2018). How to Quantify PV Plant Performance. <https://www.linkedin.com/pulse/how-quantify-pv-plant-performance-osvaldo-santos>

위와 같은 방식을 통하여 사용자가 직접 입력하는 임의의 설치용량과 더불어 앞서 산정된 My 발전소의 Specific yield 값을 고려할 수 있고, 이에 따라 사용자가 원하는 위치에서 원하는 용량을 가진 태양광 발전소의 예상 태양광 발전량을 통계적으로 예상해볼 수 있다.

라. 태양광 발전 사업으로 인한 온실가스 감축량 및 전기(수소)차 전환 효과

사용자가 선정한 위치에서 산정된 예상 태양광 발전량을 통해 태양광 발전 사업으로 인한 온실가스 감축량을 예측할 수 있다. 태양광 발전으로 인한 온실가스 감축 효과는 온실가스 감축량(tCO<sub>2</sub>eq)으로 제공하는 것과 더불어 기존 내연기관차 몇 대를 전기차 또는 수소차로 전환하는 효과를 가지는지 사용자가 이해하기 쉽도록 제공하고자 하였다.

먼저 앞서 산정된 My발전소의 예상 태양광 발전량을 활용하여 태양광 발전사업으로 인한 온실가스 감축량을 다음과 같이 산정한다.

$$R_{em} = Pg_{my} * EF_{solar}$$

여기서  $R_{em}$  는 온실가스 감축량,  $EF_{solar}$  는 태양광 발전에 따른 전력 배출계수를 의미한다. 태양광 발전 전력 배출계수는 환경부 지침에 따라 0.045941 tCO<sub>2</sub>eq/MWh를 입력하였다. 환경부 고시 ‘공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침’<sup>123)</sup>의 외부감축사업 온실가스 감축량 산정 방법론에 따르면 온실가스 배출 감축량 산정에 사용되는 배출계수는 재생에너지원은 태양광과 풍력 발전에 한하여 적용 가능하다.

위의 식을 통하여 산정된 태양광 발전량에 따른 온실가스 감축량을 기존 내연기관 자동차 몇 대를 전기차 또는 수소차로 전환하는 효과와 동일한지 표출하고자 하였다. 내연기관 자동차 1대당 온실가스 배출량은 온실가스종합정보센터<sup>124)</sup>에서 제공하는 온실가스 인벤토리 자료와 국토교통부<sup>125)</sup>에서 제공하는 총 자동차 등록 대수, 전기차 등록 대수 및 수소차 등록 대수 자료를 활용하여 산정하였다. 2019년을 기준으로 우리나라 총 등록 자동차 대수는 23,677,366대인 것으로 확인되며 전기차(89,918대)나 수소차(5,083대)와 같이 운행 중 온실가스 배출이 없는 친환경자동차의 등록대수를 제외하면 내연기관 자동차의 등록대수는 23,582,365대인 것으로 확인된다. 또한 온실가스종합정보센터의 온실가스 인벤토리 자료에 의하면 2019년 도로수송 부문의 온실가스 배출량은 97,462.09 GgCO<sub>2</sub>eq인 것을 알 수 있다. 따라서 2019년의 자동차 등록 대수와 도로수송 부문의 온실가스 배출량을 활용하여 온실가스를 배출하지 않는 친환경자동차를 제외한 내연기관차 1대가 1년 동안 배출하는 온실가스의 양을 아래의 식에 따라 산출할 수 있다.

$$IC_{em} = \frac{TR_{em}}{nR_{IC} - (nR_{EV} + nR_{Hyd})}$$

123) [https://www.law.go.kr/행정규칙/공공부문온실가스·에너지목표관리운영등에관한지침/\(2020-304,20201230\)](https://www.law.go.kr/행정규칙/공공부문온실가스·에너지목표관리운영등에관한지침/(2020-304,20201230))

124) 온실가스종합정보센터, <http://www.gir.go.kr/home/main.do>

125) 국토교통부, <http://www.molit.go.kr/portal.do>

여기서  $IC_{em}$  은 기존 내연기관 자동차 1대당 연간 온실가스 배출량( $tCO_2eq$ ),  $TR_{em}$  은 도로수송부문의 연간 온실가스 배출량( $tCO_2eq$ ),  $nR_{IC}$  는 연간 자동차 총 등록 대수,  $nR_{EV}$  는 연간 전기차 총 등록 대수,  $nR_{Hyd}$  는 연간 수소차 총 등록 대수를 의미한다. 친환경자동차에 포함되는 하이브리드 자동차는 운행 중 온실가스 배출이 발생하므로 총 자동차 등록 대수에서 제외하지 않았다.

위의 식에 따라서 내연기관 자동차 1대가 1년 동안 발생시키는 온실가스 배출량은 4.1328  $tCO_2eq$ 인 것으로 산정되었다. 또한 산정된 내연기관 자동차의 온실가스 배출량을 활용하면 태양광 발전 사업에 의한 온실가스 감축량과 내연기관차 온실가스 배출량을 비교할 수 있다. 예를 들어 태양광 사업으로 인한 온실가스의 감축량이 기존 내연기관 자동차 몇 대를 전기차나 수소차로 전환하는 효과와 같은지 아래의 식을 통하여 계산할 수 있다.

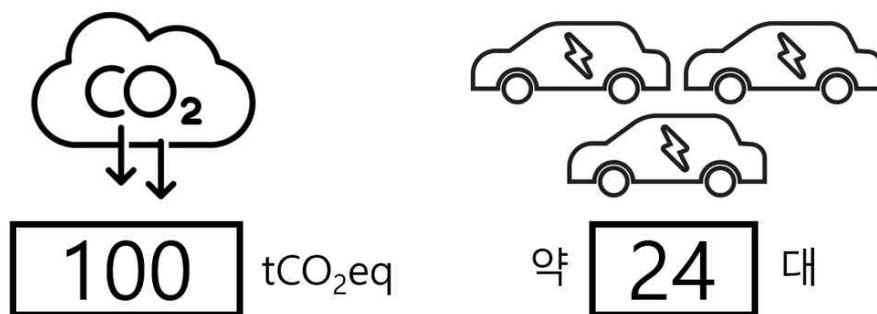
$$n_{REPLC} = \frac{R_{em}}{IC_{em}}$$

여기서  $n_{REPLC}$  은 전기(수소)차 전환 가능 대수를 의미한다. 예를 들어  $n_{REPLC}$  가 150으로 산정될 경우, My발전소 태양광 발전 사업으로 인한 온실가스 감축효과가 기존의 내연기관차 150대를 전기차 또는 수소차로 전환하는 효과와 동일하다는 것을 의미한다.

[그림 4-25]는 예시로 태양광 사업으로 인한 연간 온실가스 감축량이 100  $tCO_2eq$ 인 것으로 가정했을 때 전기(수소)차 전환 가능 대수는 100  $tCO_2eq$  / 4.1328  $tCO_2eq$  이므로, 이는 약 24대의 기존 내연기관차를 전기차 또는 수소차로 전환하는 것과 동일한 효과가 있음을 의미한다.

[그림 4-25] 연간 온실가스 예상 감축량 및 전기(수소)차 전환 효과 예시

**연간 온실가스 감축량 = 전기(수소)차 전환 효과**



마. 신재생에너지 발전 사업에 의한 잠재 그린수소 생산량  
 그린수소(Green Hydrogen)란 수전해 기술을 통하여 수소를 생산하는 방식을 의미한다. 다시 말해 태양광 또는 풍력 등과 같은 재생에너지로부터 생산되는 잉여전력을 활용하여 물을 전기

분해하는 방식으로 수소를 생산하는 것이다. 수소는 석탄이나 천연가스 등의 에너지원에 비해서 높은 발열량(122MJ/kg)을 가지고 있으며<sup>126)</sup>, 그린수소를 생산하는 과정에서 이산화탄소를 거의 발생시키지 않기 때문에 청정에너지원으로서의 가치가 크다. 한편 화석연료를 에너지원으로 하여 수소를 생산하는 방식인 그레이수소와 브라운수소의 경우에는 수소 생산 과정에서 이산화탄소를 발생시키게 된다. 따라서 그린수소가 상대적으로 친환경적인 수소 생산 방식이라고 할 수 있다. 신재생에너지의 변동성 및 에너지 저장의 한계의 문제점으로 인해 P2G 방식의 에너지 저장 기술이 필요한 시점이며<sup>127)</sup>, 특히 친환경적인 측면에서 전력을 수소로 변환하는 그린수소 기술이 주목받고 있다. 이미 미국과 일본, 유럽연합(EU)을 포함한 주요국들은 수소에너지 활용을 위한 정책을 강화하고 있으며<sup>128)</sup> 우리나라도 관계부처 합동 하에 2019년 수소 기술 개발 로드맵(안)을 공개하여 수소에너지 분야의 국내 기술경쟁력 확보 및 수소경제 이행을 위한 전략을 수립하고 이를 추진하고 있다. 따라서 본 플랫폼의 데이터Lab에서는 예상 태양광 발전량 데이터를 기반으로 하여 사용자가 신재생에너지 발전 사업에 의한 대략적인 그린수소 예상 잠재량을 확인할 수 있도록 하였다.

데이터Lab 상의 지도에서 사용자가 임의로 위치를 선정했을 때 해당 지점의 잠재 그린수소 생산량을 산정하여 나타내는 기능으로, 수소 생산량 예측 기본 관계식은 다음과 같다<sup>129)</sup>.

$$n_{H_2,EL} = \delta_{RE} \cdot \frac{\eta_{EL} PG_{my}}{HHV_{H_2}}$$

여기서  $n_{H_2,EL}$ 는 수소 발생량(kg/hr),  $\eta_{EL}$ 는 수전해기 효율,  $\delta_{RE}$ 는 재생에너지 변동성 반영을 위한 수전해기 가동률,  $PG_{my}$ 은 전력 입력량(kWh),  $HHV_{H_2}$ 는 수소의 고위 발열량(kWh/kg.H<sub>2</sub>)을 의미한다.

위 산정식은 전력생산량을 모니터링하지 않는 경우에 수전해기 용량에 따른 가동률을 가정하여 수소 발생량을 예측하는 산정식이다. 본 플랫폼의 데이터Lab에서는 각 발전소에서 수집한 전력생산량 데이터를 활용하여 잠재 수소 발생량을 산정하므로 ‘ $\delta_{RE}$ , 재생에너지 변동성 반영을 위한 수전해기 가동률’ 변수는 고려하지 않았다. 다만 사용자가 임의로 전력의 이용률을 입력할 수 있게 하여 이용량에 따른 잠재 수소 발생량을 산출할 수 있도록 아래와 같이 산정식을 재구성하였다.

$$n_{H_2,EL} = U_{Per} \cdot \frac{\eta_{EL} PG_{my}}{HHV_{H_2}}$$

여기서  $U_{Per}$ 는 사용자가 임의로 입력할 수 있는 전력의 이용률을 나타낸다. 또한 수전해기 효율의 경우 알카라인 수전해기를 기준으로 국내 수소 생산 기술 수준을 고려한 70%로 가정하였으며,  $HHV_{H_2}$ 는 수소의 고위 발열량인 39.4 kWh/kg.H<sub>2</sub>을 입력하였다<sup>96)</sup>.

126) 김지민, 임성원, 알사예드, 프라카시움, 김동훈. (2021). 국내 유기성폐기물의 바이오수소 잠재량 분석

127) 이태의. (2020). 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구, 에너지경제연구원

128) 천강, 김진수. (2020). 주요국의 수소경제 지원 정책과 시사점

129) 박정호, 김창희, 조현석, 김상경, 조원철. (2020). 재생에너지 기반 그린 수소 생산 시스템의 기술 경제성 분석

[그림 4-26] 사용자 지정 이용량에 따른 예상 그린수소 생산량 표출 방식 예시

**사용자 선정위치 잠재그린수소생산량**

발전량 중 **20** % 사용을 가정하여 **적용**

발전량의 **20** % 사용시 연간 그린수소 생산량은 약 **5219.7** kg 일 것으로 예상됩니다.  
 이는 수소차를 약 **825** 회를 완충할 수 있고, **626.4** ton 의 음식물쓰레기를 처리해야 얻을 수 있는 수소의 양과 같습니다.

[그림 4-26]은 1,000kWp 용량의 태양광 발전을 했을 때의 예시로, 사용자가 임의로 지정하는 이용률(20%)에 따른 잠재 그린수소 생산량을 보여준다. 잠재 그린수소 생산량은 태양광 발전량과 그 이용률에 따라 하루 동안 생산되는 그린수소의 예상량으로 표출된다. 또한 생산된 그린수소를 활용했을 때의 수소차(현대자동차 NEXO 완충 기준, 2022<sup>130)</sup> 충전 가능 횟수를 계산하여 나타내고, 몇 톤의 음식물쓰레기를 처리해야 얻을 수 있는 수소 생산량인지(충주 음식물바이오에너지센터 기준) 표출하는 등 사용자가 이해하기 쉽도록 다양한 방식으로 결과를 제공하고자 하였다.

**4. 발전량 및 온실가스 배출량**

전력 및 열에너지를 생산·공급하는 전환 부문은 2019년 기준 우리나라 국가 총 배출량의 약 37%를 차지하는 주요 배출원으로 그 비중이 타 부문에 비해 높다<sup>131)</sup>. 또한 전환 부문의 배출량은 타 부문의 에너지 수요 및 변화에 직접적인 영향을 미치기 때문에 도전적으로 감축목표를 설정하고 추진해야 하는 부문이다. 본 연구에서는 발전량 및 온실가스 배출량 자료의 분석 범위를 전환 부문으로 한정하여 활용하였다. 특히 회사별 발전량 및 온실가스 배출량 데이터 수집은 6개 한전 자회사만을 대상으로 하였으며, 6개 한전 자회사는 아래와 같이 화력 발전 5개사 및 원자력 발전 1개사를 의미한다.

[화력 발전 5개사]

- ▷ 한국남동발전 주식회사 (Korea South-East Power Co., Ltd)
- ▷ 한국남부발전 주식회사 (Korea Southern Power Co., Ltd.)
- ▷ 한국동서발전 주식회사 (Korea East-West Power Co., Ltd.)
- ▷ 한국서부발전 주식회사 (Korea Western Power Co., Ltd)
- ▷ 한국중부발전 주식회사 (Korea Midland Power Co., Ltd.)

[원자력 발전 1개사]

- ▷ 한국수력원자력 주식회사 (Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.)

130) 현대자동차 NEXO 제원, <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/nexo/spec>

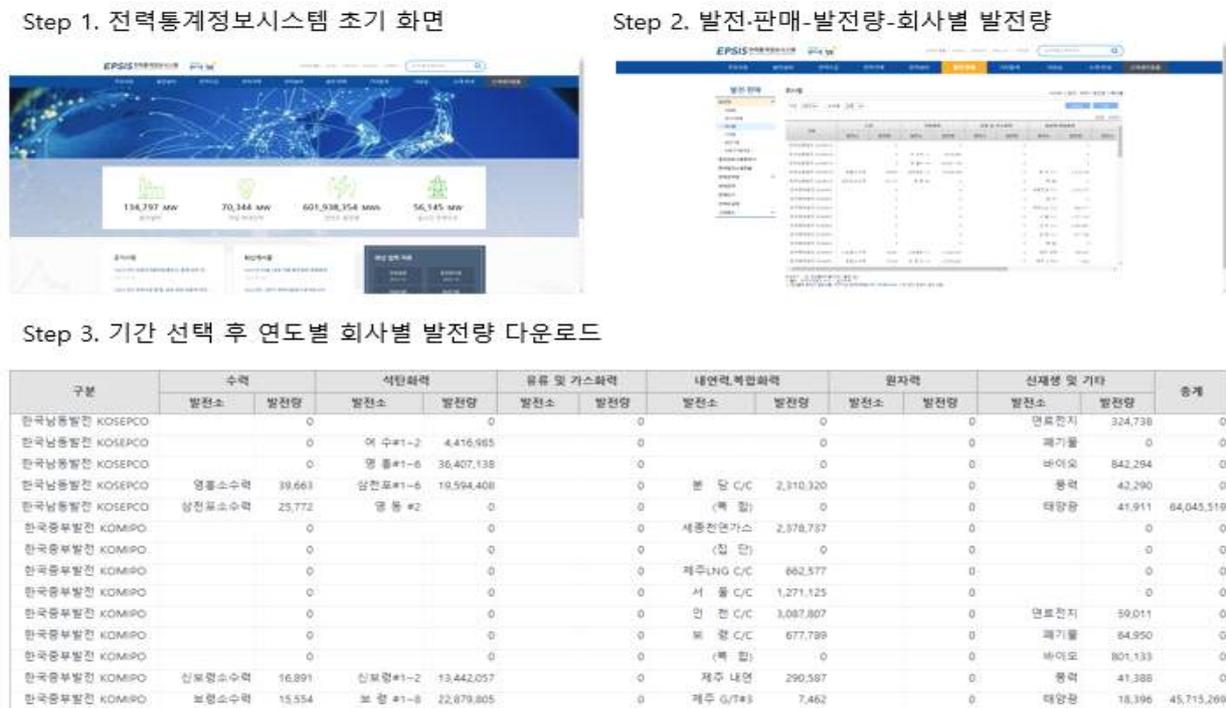
131) 2030 국가온실가스 감축목표(NDC) 상향안

데이터Lab의 「발전량 및 온실가스 배출량」 메뉴에서는 회사별 발전 사업에 의한 발전량 및 온실가스 배출량과 회사별·지역별 온실가스 배출량 데이터를 제공하고 있다. 또한 태양광 및 풍력 발전 사업에 의한 온실가스 감축량을 지역별로 나타내는 기능을 포함하였다.

가. 발전 사업에 의한 회사별 발전량 및 온실가스 배출량

데이터Lab의 탄소배출량 탭에서는 발전 사업에 의한 회사별 발전량 및 온실가스 배출량을 확인할 수 있도록 구성하였다. 회사별 발전량 자료는 전력거래소에서 운영하고 있는 전력통계정보시스템(EPSSIS)<sup>132)</sup>과 한국전력통계<sup>133)</sup> 자료를 통해 데이터를 수집하였다. [그림 4-27]은 회사별 발전량 데이터의 수집 과정을 예시로 나타낸 것이며, [그림 4-28]은 회사별 온실가스 배출량 데이터의 수집 과정을 예시로 나타낸 것이다.

[그림 4-27] 회사별 발전량 데이터 수집 과정 예시



발전량 자료는 연도별 자료이며 수집 가능한 데이터의 최대 기간은 2001년부터 2020년까지이다. 각 연도별 발전량 자료를 수집한 후 6개 한전 자회사에 대한 각 발전량의 총계를 추출하였다. 또한 온실가스 배출량 자료는 국가온실가스 종합관리시스템<sup>134)</sup>의 명세서 배출량 통계 자료를 수집하였으며 자료수집 기간은 2011년부터 2021년까지의 자료를 수집하였다. 업체배출량 자료를 연도별로 수집한 후 6개 한전 자회사에 대한 각 온실가스 배출량 자료를 추출하였다. 플랫폼의 데이터Lab 상에서는 발전량 자료와 온실가스 자료의 기간을 포함할 수 있도록 2011년

132) 전력통계정보시스템, <https://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/>  
 133) 한국전력공사, <https://home.kepco.co.kr/kepco/main.do>  
 134) 국가온실가스 종합관리시스템, <https://ngms.gir.go.kr/main.do>

부터 2020년까지 10년의 자료를 사용하여 그래프로 시각화하였다.

[그림 4-28] 회사별 온실가스 배출량 데이터 수집 과정 예시

Step 1. 국가온실가스 종합관리시스템 초기 화면



Step 2. 정보공개-명세서 배출량통계



Step 3. 업체배출량 다운로드

번호	연장기관(주부유형)	관리업체	대상연도	지점구분	부문	지점업종	계회업종	온실가스 배출량(tCO <sub>2</sub> -eq)	에너지 사용량(t)	오염수량(㎥)
1	국외교육부	(주)글로벌교육	2020	사업장	교육(여객)	교육(여객)	21,850	341	(주)한국관광인수원	
2	국외교육부	(주)글로벌교육	2020	업체	교육(여객)	교육(여객)	109,380	1,727	상원주철물장비	
3	국외교육부	(주)글로벌교육	2020	사업장	교육(여객)	교육(여객)	14,747	208	(주)한국관광인수원	
4	국외교육부	(주)글로벌	2020	사업장	건물	건물	17,866	384	한국경안산업부인수원(주)	
5	국외교육부	(주)글로벌리우신	2020	사업장	교육(여객)	교육(여객)	6,755	96	(주)한국관광인수원	
6	국외교육부	(주)한국관광	2020	업체	건물	건물	111,658	1,697	한국풍운철회	
7	국외교육부	(주)글로벌교육	2020	사업장	교육(여객)	교육(여객)	19,848	282	(주)한국관광인수원	
8	국외교육부	(주)글로벌물류	2020	사업장	교육(화물)	교육(화물)	30,429	437	한국풍운철회	
9	국외교육부	(주)대우건설	2020	업체	건물	건물	58,980	1,174	(주)에스아이그룹코리아	
10	국외교육부	(주)대우교육	2020	업체	교육(여객)	교육(여객)	115,574	1,822	상원주철물장비	
11	국외교육부	(주)대우비스	2020	사업장	교육(여객)	교육(여객)	28,153	477	상원주철물장비	
12	국외교육부	(주)대우여객	2020	사업장	교육(여객)	교육(여객)	21,999	399	상원주철물장비	
13	국외교육부	(주)대우관광	2020	사업장	교육(여객)	교육(여객)	35,691	599	상원주철물장비	
14	국외교육부	(주)글로벌	2020	업체	교육(화물)	교육(화물)	43,317	625	대우기안서비스(주)	
15	국외교육부	(주)글로벌교육	2020	업체	수송	수송	91,363	731	(주)한국관광인수원	
16	국외교육부	(주)우유우유인프라트	2020	사업장	건물	건물	18,237	328	(주)한국관광인수원	
17	국외교육부	(주)부산대학교	2020	사업장	건물	건물	10,010	203	(주)한국관광인수원	

<표 4-4> 및 <표 4-5>는 6개 한전 자회사들의 발전량과 온실가스 배출량을 2011년부터 2020년의 기간에 따라 정리한 것을 보여준다. 온실가스 배출량 및 발전량의 단위는 각 10,000 tCO<sub>2</sub>eq 및 10,000MWh이다. 우리나라는 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안을 통해 온실가스 배출량을 2030년까지 2018년 대비 40%(291백만ton)를 감축하는 것을 목표로 하고 있다. 따라서 한전 자회사들의 온실가스 배출량의 연도별 변화 추이를 살펴보면 NDC의 기준인 2018년을 기점으로 하여 감소하는 경향을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 본 플랫폼에서 수집하여 활용한 데이터는 한전 자회사로 한정되어 있으므로 이를 근거로 국가 온실가스 배출량의 감소 원인을 일반화하기에는 어려움이 있다. 온실가스 배출량이 감소하는 경향을 보이는 이유는 발전사의 총 발전량 감소의 영향, 유류·석탄발전 축소, 신재생에너지 발전 확대의 영향 등이 있을 수 있다. 하지만 각각의 영향력을 정량적으로 제시하여 정확한 원인을 파악하기 위해서는 추후 각 발전소의 에너지원별 연료소비실적 데이터를 활용하여 정확도 높은 원단위당 온실가스 배출량 산정을 통한 상세한 분석이 요구된다.

본 연구에서는 회사별·연도별로 수집한 자료를 활용하여 발전사들의 대략적인 연도별 발전량 및 온실가스 배출량 트렌드를 파악하는 것을 목표로 하였다.

&lt;표 4-4&gt; 연도별 한전 자회사 온실가스 배출량

(단위 : 만tCO<sub>2</sub>eq)

	한국남동발전	한국동서발전	한국중부발전	한국서부발전	한국남부발전	한국수력원자력
2011	5,099	4,137	3,735	3,851	3,855	281
2012	5,306	4,413	3,657	3,751	3,948	306
2013	5,152	4,321	4,028	3,911	4,120	330
2014	5,655	3,830	3,745	3,472	3,607	376
2015	5,910	3,795	3,366	3,385	3,211	300
2016	5,973	3,974	3,336	3,670	3,426	306
2017	5,814	3,858	4,058	3,697	3,651	345
2018	5,758	3,954	3,585	3,796	4,040	333
2019	5,340	3,902	3,427	3,467	3,666	311
2020	4,252	3,491	3,477	3,042	2,901	292

&lt;표 4-5&gt; 연도별 한전 자회사 발전량

(단위 : 만MWh)

	한국남동발전	한국동서발전	한국중부발전	한국서부발전	한국남부발전	한국수력원자력
2011	6,115	5,364	5,382	5,481	6,033	15,944
2012	6,341	5,764	5,238	5,609	6,339	15,536
2013	6,245	5,705	5,846	5,807	6,809	14,437
2014	6,741	5,107	5,262	5,028	5,897	16,228
2015	7,099	4,954	4,609	4,809	4,873	16,908
2016	7,170	5,199	4,515	5,048	5,002	16,672
2017	7,063	5,112	5,295	4,793	5,000	15,358
2018	6,796	5,348	4,794	5,190	5,817	13,859
2019	6,405	5,091	4,572	4,650	5,133	15,028
2020	5,178	4,557	4,888	3,997	4,343	16,461

발전사들의 연도별 발전량 및 온실가스 배출량의 트렌드를 파악하기 위해서 6개 한전 자회사별로 발전 단위당 온실가스 배출량인 배출계수를 산정하였다. 발전단위당 온실가스 배출량 산정 방식은 다음과 같다.

$$\text{발전 단위당 온실가스 배출계수} = \frac{\text{온실가스 배출량 (tCO}_2\text{eq)}}{\text{발전량 (MWh)}}$$

발전 단위당 온실가스 배출계수는 온실가스 배출량을 발전량으로 나눈 값으로 각 발전소에서 발생한 단위 발전량당 온실가스 배출량을 의미한다. 각 발전소에서 연도별로 발생한 발전량이 모두 다르기 때문에 온실가스 배출량의 연도별 변화 추이를 확인하기 위해서는 발전 단위당 온실가스 배출계수를 확인할 필요가 있다. <표 4-6>의 연도별 발전 단위당 온실가스 배출계수를 살펴보면 연도의 흐름에 따라서 배출계수가 감소하는 경향을 나타내지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 이는 단순히 총 발전량이 연도에 따라 감소한 것이 온실가스 배출량의 연도별

감소 원인인 것으로 판단할 수도 있다. 그러나 신재생에너지 보급·확대가 각 발전소의 온실가스 감축에 미치는 영향을 객관적으로 판단하기 위해서는 태양광, 풍력, 바이오매스 및 연료전지 등을 포함한 각 에너지원의 연료 사용량 자료와 배출계수를 활용하여 온실가스 배출량 산정이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

<표 4-6> 연도별 한전 자회사 발전단위당 온실가스 배출량

(단위 : tCO<sub>2</sub>eq/MWh)

	한국남동발전	한국동서발전	한국중부발전	한국서부발전	한국남부발전	한국수력원자력
2011	0.8339	0.7713	0.6940	0.7025	0.6389	0.0177
2012	0.8367	0.7657	0.6981	0.6687	0.6227	0.0197
2013	0.8251	0.7574	0.6889	0.6734	0.6050	0.0228
2014	0.8389	0.7500	0.7117	0.6905	0.6117	0.0232
2015	0.8325	0.7661	0.7304	0.7039	0.6589	0.0177
2016	0.8332	0.7645	0.7389	0.7271	0.6848	0.0183
2017	0.8232	0.7547	0.7663	0.7713	0.7303	0.0224
2018	0.8472	0.7394	0.7478	0.7313	0.6945	0.0240
2019	0.8338	0.7664	0.7496	0.7456	0.7142	0.0207
2020	0.8213	0.7660	0.7114	0.7610	0.6679	0.0177

나. 발전 사업에 의한 지역별 발전량 및 온실가스 배출량

발전 사업에 의한 지역별 발전량 자료는 회사별 발전량 자료와 마찬가지로 전력통계정보시스템의 자료를 수집하였으며 활용 가능한 데이터 기간은 2002년부터 2021년까지이다. 또한 발전 사업에 의한 지역별 온실가스 배출량 데이터는 환경부에서 운영하는 온실가스종합정보센터의 지역별 온실가스 인벤토리(1990-2019) 공표 자료를 통하여 수집하였다. 본 플랫폼에서는 지역별 온실가스 인벤토리 자료의 ‘에너지-연료연소-에너지산업-공공전기 및 열 생산’에 해당하는 배출량을 추출하여 데이터로 활용하였다. [그림 4-29]는 서울 지역의 온실가스 인벤토리 자료의 일부분을 보여준다.

[그림 4-29] 환경부 광역지자체 기준 지역별 온실가스 인벤토리 예시 (서울)

온실가스 배출량 (단위: Gg CO <sub>2</sub> eq.)									
분야·부문/연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
총배출량	25,002.10	28,253.64	29,360.66	32,412.32	36,406.66	39,327.28	40,522.95	41,202.01	36,750.38
순배출량	24,971.83	28,216.11	29,409.04	32,474.63	36,474.51	39,271.15	40,484.29	41,155.79	36,720.28
에너지	23,343.20	26,471.09	27,366.52	30,345.58	33,755.88	36,200.56	37,123.40	37,674.11	33,460.02
A. 연료연소	23,209.12	26,324.25	27,181.20	30,169.03	33,469.41	35,866.75	36,703.46	37,194.85	33,034.69
1. 에너지산업	70.89	82.60	154.70	1,033.76	1,574.92	1,605.97	2,006.07	2,168.72	4,060.24
a. 공공전기 및 열 생산	4.93	7.61	30.64	928.56	1,400.97	1,405.75	1,728.45	1,747.76	3,638.53
b. 석유정제	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c. 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업	65.96	74.98	124.06	105.20	173.95	200.21	277.63	420.97	421.71
2. 제조업 및 건설업	2,121.33	2,414.73	2,353.42	2,403.38	2,762.08	2,685.31	2,389.54	1,464.16	1,289.65
a. 절강	48.65	56.73	64.10	66.43	102.51	69.93	53.29	42.04	37.99
b. 비철금속	5.83	5.20	4.89	6.16	4.73	7.35	9.22	4.15	2.01
c. 화학	233.45	287.32	314.52	332.73	368.38	289.52	348.98	294.85	210.45
d. 펄프, 제지 및 인쇄	148.97	165.15	191.34	204.71	232.91	244.46	242.15	35.95	83.56
e. 식음료품 가공 및 담배 제조	391.74	398.25	435.29	442.92	486.26	547.97	523.38	382.14	357.56
f. 기타	1,292.68	1,502.08	1,343.27	1,350.43	1,567.30	1,526.08	1,212.51	705.02	598.08
1. 비금속	271.62	306.85	350.20	344.25	414.12	353.37	278.06	73.68	58.07
2. 조립금속	36.87	44.66	46.56	49.94	60.19	56.49	55.34	29.44	42.13
3. 나무 및 목재	0.01	0.01	0.00	0.01	1.72	7.63	5.21	5.05	0.43
4. 건설	420.29	413.59	318.69	315.44	341.14	267.98	267.42	71.43	103.31
5. 섬유 및 가죽	284.02	284.93	262.14	248.48	295.08	282.87	189.06	91.51	125.01
6. 기타제조	279.87	452.06	365.67	392.31	455.05	557.73	417.42	433.92	269.13

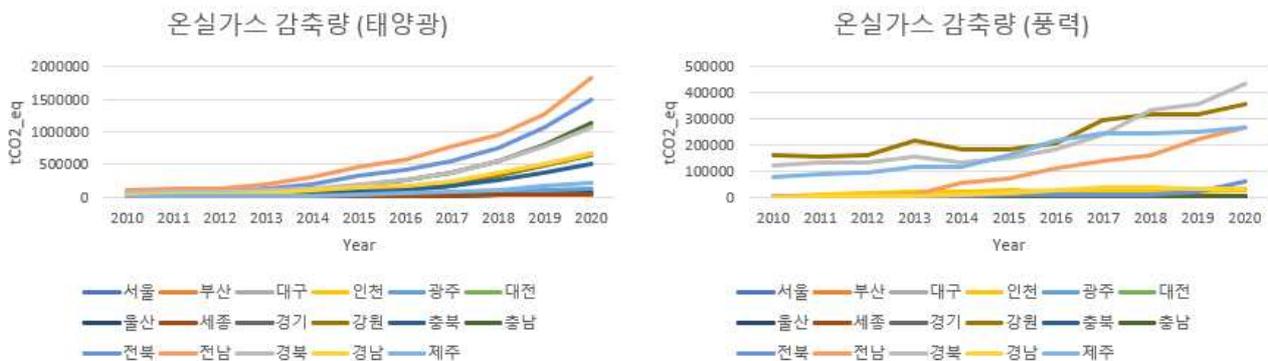
## 다. 태양광 및 풍력 발전 사업에 의한 지역별 온실가스 감축량

17개 광역지자체의 연도별 태양광 발전량 및 풍력 발전량 자료는 국가통계포털(KOSIS)의 지역별 신재생에너지 발전량 자료에서 추출하였으며 수집한 데이터 기간은 2010년에서 2020년까지 총 11년이다. 신재생에너지 발전 사업에 의한 17개 광역지자체별 온실가스 감축량은 태양광 발전 및 풍력 발전을 대상으로 산정하였다. 환경부의 외부감축사업 온실가스 감축량 산정 방법론에 따르면 온실가스 배출 감축량 산정에 사용되는 배출계수의 적용 가능한 재생에너지원으로 태양광 발전과 풍력 발전만을 포함하고 있다. 또한 온실가스 배출 감축량에 사용되는 배출계수는 전력생산량을 모니터링 하는 경우의 값과 전력생산량을 모니터링 하지 않는 경우로 나누어지는데 두 가지 경우의 배출계수 값은 각 0.45941 tCO<sub>2</sub>eq/MWh 및 0.46625 tCO<sub>2</sub>eq/MWh로 명시되어 있다. 본 플랫폼의 데이터Lab에서는 한전 자회사들의 과거 발전량 자료를 수집하여 활용하였으므로 전력생산량을 모니터링 하는 경우의 배출계수인 0.45941 tCO<sub>2</sub>eq/MWh를 적용하여 온실가스 감축량을 산정하였다. 온실가스 감축량은 환경부 지침에 따라 아래의 식을 활용하여 산정하였다.

$$ER = E \times EF_{CO_2eq} / 1,000$$

여기서  $ER$ 은 총 온실가스 감축량(tCO<sub>2</sub>eq),  $E$ 는 감축사업(신재생에너지 발전사업)에 의한 전력생산량(kWh),  $EF_{CO_2eq}$ 는 전력 배출계수(0.45941 tCO<sub>2</sub>eq/MWh)를 의미한다.

[그림 4-30] 태양광·풍력 발전사업에 의한 지자체별 온실가스 감축량 산정 결과



[그림 4-30]은 태양광 발전 및 풍력 발전에 따른 온실가스 감축량을 연도별로 산정하여 광역지자체에 따라 그래프로 나타낸 것을 보여준다. 데이터Lab상에서 온실가스 감축량은 tCO<sub>2</sub>eq 단위로 표출되며 각 지자체별·연도별 데이터를 테이블 및 그래프의 형태로 제공하고자 하였다. 2020년을 기준으로 태양광 발전에 의한 전국의 온실가스 감축량은 886.56만 tCO<sub>2</sub>eq, 풍력 발전에 의한 전국의 온실가스 감축량은 144.7만 tCO<sub>2</sub>eq인 것으로 나타나 태양광 발전에 의한 온실가스 감축량이 풍력 발전에 의한 온실가스 감축량에 비해 약 6.13배 높았던 것으로 분석되었다.

## 5. 지자체 에너지 계획

데이터Lab의 「지자체 에너지 계획」 메뉴에서는 우리나라 17개 광역 지자체의 에너지 비전, 목표 및 정책을 보여준다. 우리나라는 제3차 국가에너지기본계획<sup>135)</sup>이 수립됨에 따라 이와 연계한 각 지자체 지역에너지계획을 수립하여 추진하는 것을 목표로 하고 있다. 이에 17개 광역지자체가 각 지역별 에너지 계획을 발표하였으며, 본 플랫폼에서는 각 지역별 최신 에너지 계획 자료를 요약본 및 원본 형식으로 제공하고 있다. 지역 에너지계획은 에너지법<sup>136)</sup>에 따라 에너지기본계획의 효율적인 달성 및 지역경제 발전을 위해 각 광역지자체가 5년을 주기로 향후 5년 기간 이상의 계획을 수립하는 법정계획이다. 지자체별 에너지 계획에서는 2025년 단기 계획뿐만 아니라 2030~2050년에 이르는 장기 비전과 목표를 수립하고, 최종에너지 소비, 재생에너지 보급에 따른 발전비중 및 분산전원 발전비중 등의 목표를 정량적으로 제시하고 있다.

[그림 4-31] 지자체 에너지 계획 요약본 예시 (서울 및 충청남도)



「지자체 에너지 계획」 메뉴의 화면은 지도 형식으로 표시된다. 지도상에서 사용자가 원하는 지자체를 선택하면 해당 지자체의 에너지 계획 정보를 [그림 4-31]과 같이 요약본으로 제공하거나 원본형식으로 내려받을 수 있도록 구성하였다. 17개 광역지자체별 에너지 계획의 주요 내용은 다음과 같다.

135) 산업통상자원부, <http://www.motie.go.kr/www/main.do>

136) <https://www.law.go.kr/법령/에너지법>

## (1) 서울특별시 (5차 계획)

- ▷ 비전 : “시민과 함께하는 에너지전환 도시, 서울 (-1.5°C를 목표로 에너지전환 추진)”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 31.7% 및 온실가스 배출량 38.9% 감축, 재생에너지 발전 비중 10.4% 및 분산전원 발전 비중 14.9% 확대
- ▷ 주요과제 : 에코마일리지, 에너지자립마을 2.0 사업, 건축물에너지절약설계기준 강화, 환경영향평가 심의기준 강화, 도심 공간구조에 적합한 태양광 지속적 보급, 연료전지 활용 마이크로 CHP 분산에너지자원 확대 등

## (2) 부산광역시 (6차 계획)

- ▷ 비전 : “시민과 함께 실현해가는 클린 에너지도시 부산”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 11.8% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 2.9% 및 분산전원 발전 비중 10.8% 확대
- ▷ 주요과제 : 마이크로그리드 구성을 위한 신항 배후단지 저압 AMP 설비개발 및 실증사업, 연료전지 발전 합리화를 통한 이행력 제고, 수소자동차 보급 확대, 해양 및 지진 환경 적응형 5MW급 BIPV 랜드마크 실증 등

## (3) 대구광역시 (5차 계획)

- ▷ 비전 : “1.5도시 그린대구 (1.5°C Green 대구)”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 25% 및 온실가스 배출량 48.5% 감축, 재생에너지 발전 비중 16.9% 및 분산전원 발전 비중 55.8% 확대
- ▷ 주요과제 : 국가산업단지 융·복합형 청정에너지단지 조성, 2단계 민간 연료전지발전소 확대, 지능형 FEMS 보급, 대구국가산업단지 집단에너지사업, 대구형 탄소자원화산업 육성 등

## (4) 인천광역시 (5차 계획)

- ▷ 비전 : “시민과 함께하는 3040 친환경 녹색 성장도시 인천”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 14.4% 및 온실가스 배출량 31% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 5.6% 및 분산전원 발전 비중 5.2% 확대
- ▷ 주요과제 : 제로에너지 건축물 건립 추진, 융합기술을 통한 기술개발 및 지원, 태양광 및 ESS 설치, 전기차 및 수소차 보급 확대 등

## (5) 광주광역시 (5차 계획)

- ▷ 비전 : “에너지 DNA 혁신의 중심도시 광주!”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 10.5% 및 온실가스 배출량 7.9% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 3.3% 및 분산전원 발전 비중 7.9% 확대
- ▷ 주요과제 : RE100 산단용 MW급 연료전지 보급 운영 실증사업, 온실가스 줄이기 범시민운동 전개, 수소에너지 인프라 구축사업 추진, 광주 지역에너지센터 설립 등

(6) 대전광역시 (6차 계획)

- ▷ 비전 : “함께 살고 싶은 에너지 전환도시 대전”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 7.8% 및 온실가스 배출량 7.9% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 3.5% 및 분산전원 발전 비중 3.5% 확대
- ▷ 주요과제 : 도심형 마이크로그리드, 산업단지 수소연료전지 발전사업, 물 재생센터 하수열 활용사업, 바이오가스를 이용한 수소 융·복합 충전소 실증사업 등

(7) 울산광역시 (6차 계획)

- ▷ 비전 : “실행력이 담보된 지역에너지계획 수립 및 추진을 통한 글로벌 에너지허브 도시 기반 구축”
- ▷ 목표 : 2025년까지 최종에너지 소비 6.3% 및 2030년까지 온실가스 배출량 30.4% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 10.3% 및 분산전원 발전 비중 14.5% 확대
- ▷ 주요과제 : 열병합발전시설 보급사업, 부유식 해상풍력 발전단지 조성사업, 수소연료전지 보급사업, 석유화학공정 저온폐열 발전, 원전해체연구소 설립 및 운영 등

(8) 경기도 (5차 계획)

- ▷ 비전 : “에너지자립 - 도민과 31개 시군이 함께하는 지속가능한 에너지전환”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 16.4% 및 온실가스 배출량 16.9% 감축, 재생에너지 발전 비중 7.6% 및 분산전원 발전 비중 22% 확대
- ▷ 주요과제 : 공공건물 그린리모델링 확대, 집단에너지 공급 및 미활용에너지 이용체계 구축, 에너지혁신 기술·서비스 테스트베드 및 허브 구축, 수소산업 생태계 구축 등

(9) 강원도 (5차 계획)

- ▷ 비전 : “스마트 강원, 에너지를 ‘Plus’ 하다”
- ▷ 목표 : 2025년까지 최종에너지 소비 9.3% 및 2030년까지 온실가스 배출량 29.9% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 24.7% 및 분산전원 발전 비중 45.5% 확대
- ▷ 주요과제 : 풍력발전소 설립 및 수상태양광 발전단지 조성, 수열에너지 융·복합 클러스터 조성, 원주 에너지기술센터 및 에너지자문단 운영, 취약계층 LED 조명보급 및 에너지 바우처 사업 등

(10) 충청북도 (6차 계획)

- ▷ 비전 : “친환경 그린에너지의 중심, 충청북도 (수소와 태양의 땅 충북)”
- ▷ 목표 : 2025년까지 최종에너지 소비 8% 및 2030년까지 온실가스 배출량 29.4% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 6.3% 및 분산전원 발전 비중 26.3% 확대
- ▷ 주요과제 : 신재생에너지 융·복합 지원사업, 청주 지역난방 친환경에너지 개선, 영동 양수발전소 건설사업(250MW 2기), 충북 수소에너지 클러스터 조성 등

## (11) 충청남도 (6차 계획)

- ▷ 비전 : “에너지 시민이 만드는 ‘별빛 가득한 충남’ ”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 11.9% 및 온실가스 배출량 28.9% 감축, 재생에너지 발전 비중 28.7% 및 분산전원 발전 비중 53.3% 확대
- ▷ 주요과제 : RE100 산단 추진, 재생에너지 현동조합 지원 및 확대, 건물에너지 효율 향상화 사업, 에너지 빈곤층 지원사업, 에너지 전환 추진 민간단체 활성화 사업 등

## (12) 전라북도 (4차 계획)

- ▷ 비전 : “햇빛따라 바람따라 에너지전환·자립으로 춤추는 전라북도”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 7.1% 및 온실가스 배출량 27.8% 감축, 재생에너지 발전 비중 95.5% 및 분산전원 발전 비중 50.1% 확대
- ▷ 주요과제 : 마이크로그리드 산업단지 기반조성, 새만금 대규모 태양광 발전단지 조성, 시민 참여 에너지전환 조례 제정 추진 등

## (13) 전라남도 (5차 계획)

- ▷ 비전 : “글로벌 에너지신산업 수도, 전남”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 8.4% 및 온실가스 배출량 21.5% 감축, 재생에너지 발전 비중 41.5% 및 분산전원 발전 비중 44.6% 확대
- ▷ 주요과제 : 신재생에너지 자립섬 조성사업, 수소연료전지 발전사업, 대용량 분산전원 연계용 MVDC 실증사업, 풍력단지 주변지역 민원 대책 지원 등

## (14) 경상북도 (5차 계획)

- ▷ 비전 : “도민과 함께 만드는 저탄소사회 경상북도”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 12.7% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 28.7% 및 분산전원 발전 비중 21.1% 확대
- ▷ 주요과제 : Energy4.0 기반 신재생에너지 융·복합 플랫폼 구축 및 실증사업, 수소연료전지 산업 클러스터, 폐자원 활용을 위한 친환경 에너지타운 조성 등

## (15) 경상남도 (6차 계획)

- ▷ 비전 : “지속가능한 경남형 에너지신산업 육성을 통한 4030 에너지전환 달성”
- ▷ 목표 : 2025년까지 최종에너지 소비 9.3% 및 2030년까지 온실가스 배출량 28.7% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 10.9% 및 분산전원 발전 비중 18.8% 확대
- ▷ 주요과제 : 신재생에너지 융·복합 지원사업, ESS 및 발전설비 안전관리 강화, 분산형 전원체계 구축을 위한 전문가 그룹 운영, 초전도 관련 R&D 고도화 추진 등

(16) 제주특별자치도 (6차 계획)

- ▷ 비전 : “자연이 곧 사람인 제주, 탄소제로 탐나는 섬! 제주 2030”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 19.1% 및 온실가스 배출량 33% 감축, 재생에너지 발전 비중 89.9% 및 분산전원 발전 비중 44.9% 확대
- ▷ 주요과제 : 안정적 유류 공급체계 구축을 위한 공공석유 비축기지 도입 검토, 전력계통 한계용량 및 유연성 증대, 신재생 잉여전력 이용 그린수소 생산(P2G), CFI(탄소제로섬) 대응본부 구축, 도민참여 에너지 거버넌스 구성 등

(17) 세종특별자치시 (2차 계획)

- ▷ 비전 : “시민이 함께하는 에너지 행복도시 세종”
- ▷ 목표 : 2030년까지 최종에너지 소비 15.5% 감축, 2025년까지 재생에너지 발전 비중 41.3% 및 분산전원 발전 비중 26.6% 확대
- ▷ 주요과제 : 산업단지 지원사업 및 융·복합 지원사업, 민간건물의 신재생에너지 도입 의무화, 열병합발전소와 지역난방 공급시설 조성, 세종 에너지 거버넌스 구축 및 운영 등

## 제 4 절 융·복합 실증 사례 중심의 기술패키지 및 인벤토리 정보

PLANET의 융·복합 기술 메뉴는 에너지 분야의 이슈에 대한 기술솔루션을 모색하기 위한 정보 제공의 목적으로 구축되었으며, 하위 메뉴로서 「기술패키지」 「기술인벤토리」, 「국내 융복합 실증사례」, 「국의 융복합 사례」가 구성되어 있다. 본 절에서는 각 하위 메뉴의 내용과 기능에 대하여 설명하고자 한다.

### 1. 기술 패키지

기술패키지 메뉴에서는 최근 기후변화와 관련하여 새롭게 제안되거나 유망한 융·복합 기술에 대한 정보가 수록되어 있다. PLANET 초기 버전에는 신현우 외 (2020)와 신현우 외 (2021)에서 도출된 문제 해결형 융복합 기후기술을 참고하여 ‘바이오매스에 기반한 Carbon Negative 수소 생산’, ‘신재생에너지 P2G’ 를 선정하여 기술패키지 메뉴에 대표 융복합 기술 패키지로 수록하였다<sup>137)138)</sup>. 본 연구에서 적용된 융복합 기술 패키지는 융복합 기후기술 도출 및 적용을 위한 전략연구<sup>138)</sup>의 융복합 기술 선행연구 분석, 선진국형 융복합 패키지 제안 분석과 신재생에너지 분야의 주요이슈 해결 방안 등을 종합적으로 고려하여 선정되었다. 각 융합패키지에 대한 개요, 강점, 한계, 그리고 이를 구성하는 요소기술에 대한 상세 정보(기술개요, 장/단점, 기술수준, 기술공정 Input/Output, 주요연구기관, 온실가스 감축기여도, 기술별 산업 및 시장동향 등)를 제공하고 있다.

[그림 4-32] 융·복합기술 내 기술패키지 메뉴 예시



137) 신현우 외 (2020), 문제해결형 융복합 녹색·기후기술 도출 및 적용을 위한 전략연구, 녹색기술센터

138) 신현우 외 (2021), 융복합 기후기술 기반의 데이터 플랫폼 구축 및 인벤토리 연구, 녹색기술센터

<표 4-7> 바이오매스기반 Carbon Negative 수소생산 융복합 기술 패키지 구성 기술 목록 예시

소분류	세부분류	세세부기술	
10.바이오에너지	바이오매스 자원화기술	생물학적전환기술	혐기성소화기술
		열화학적변환	반탄화기술
			수열탄화기술
			액상화기술
		가스화기술	
12.수소제조	화석연료 개질기술	습윤개질반응	SR(Steam reforming)
		부분산화반응	POX(partial Oxidation)
		자열개질반응	ATR(Auto thermal reforming)
		CO <sub>2</sub> 개질반응	CDR(carbon dioxide reforming)
		수성가스전환반응	WGS(Water-gas shift)
21.CCUS	CO <sub>2</sub> 포집 기술	습식포집	아민 & 암모니아 계열 흡수제
		건식포집	건식 CO <sub>2</sub> 포집기술
			촉진수성가스전환반응
	분리막포집	CO <sub>2</sub> 분리막	
45.기타기후기술	가스정제 기술	흡수법	가스 습식흡수
		흡착법	가스 건식흡착
		막분리법	가스 막분리

## 2. 기술 인벤토리

본 플랫폼에서 기술 인벤토리는 융·복합 기후기술 패키지를 구성하는 세부기술 리스트를 통칭하는 것으로 온실가스 감축과 적응 측면에서 활용 가능한 각 기술들에 대한 정보를 담고 있다. 사용자는 기술 인벤토리를 통해 융·복합 기후기술 패키지를 구성하는 요소기술의 정의, 기술 수준, 최고기술보유국, 기술 격차, 중점연구그룹 등에 대한 정보를 열람할 수 있다.

기술 인벤토리는 2017년 과학기술정보통신부가 승인한 45대 기후기술 분류체계를 기준으로 구조화되었다. 기후기술 분류체계는 기후기술을 크게 3대 대분류(감축/적응/감축·적응 융합), 14개 중분류, 45개의 소분류로 구분한다.

&lt;표 4-8&gt; 기후기술 분류체계

대분류	중분류			소분류 범위	
감축	온실가스 저감	에너지 생산 &공급	발전 &전환	(1) 비재생에너지	1. 원자력발전 2. 핵융합발전 3. 청정화력발전·효율화
				(2) 재생에너지	4. 수력 5. 태양광 6. 태양열 7. 지열 8. 풍력 9. 해양에너지 10. 바이오에너지 11. 폐기물
				(3) 신에너지	12. 수소제조 13. 연료전지
				(4) 에너지 저장	14. 전력저장 15. 수소저장
					(5) 송배전 & 전력IT
		(6) 에너지 수요	18. 수송효율화 19. 산업효율화 20. 건축효율화		
			(7) 온실가스 고정	21. CCUS 22. Non-CO <sub>2</sub> 저감	
			적응	(8) 농업 & 축산	23. 유전자원&유전개량 24. 작물재배&생산 25. 가축질병관리 26. 가공,저장&유통
		(9) 물관리		27. 수계&수생태계 28. 수자원확보및공급 29. 수처리 30. 수재해관리	
		(10) 기후변화예측 및 모니터링		31. 기후예측및모델링 32. 기후정보&경보시스템	
	(11) 해양, 수산&연안	33. 해양생태계 34. 수산자원 35. 연안재해관리			
	(12) 건강	36. 감염질병관리 37. 식품안전예방			
	(13) 산림&육상	38. 산림생산증진 39. 산림피해저감 40. 생태모니터링&복원			
	감축/적응 융복합	(14) 다분야 중첩	41. 신재생에너지하이브리드 42. 저전력소모장비 43. 에너지하베스팅 44. 인공광합성 45. 분류체계로 다루기 어려운 기후변화 관련 기타 기술		

그러나 소분류 수준에서 융·복합 기후기술 패키지를 구성하는 요소기술에 대한 구분이 명확하지 않기 때문에 본 과제에서는 녹색기술센터가 수행한 ‘2020 기술수준 조사’에서 도출한 각 기술별 세부 기술을 기본 단위로 하여 기술인벤토리 데이터베이스를 구축하였다. ‘2020 기후기술 수준조사’에 따르면 세부기술 도출을 위해 ‘녹색·기후기술 백서 2019’, 각 기술 분야별 학회에서 분류하는 기준, 유관기관의 동향보고서의 분류 기준, 국가기후정보시스템(CTIS)에서 공개하고 있는 기술의 분류, ‘개도국 진출 유망 기후기술 분야별 국내 보유역량 조사(녹색기술센터, 2019)’ 보고서 등을 참고하여 1차 초안을 작성한 후, 각 기술 분야별 5~6인의 전문가 검토를 통해 세부기술을 재조정하여 최종적인 세부기술을 도출하였다<sup>139)</sup>.

<표 4-9> 45대 기후기술 세부분류 목록

45대 기후기술	세부분류
1. 원자력발전	차세대 경수로 기술
	미래형 원자로 시스템(GEN-IV) 기술
	순환핵연료주기 시스템 기술
	원전해체기술
2. 핵융합 발전	고성능 연소 플라즈마 발생 및 유지 기술
	핵융합 재료물질 개발 기술
	핵융합에너지 동력변환 기술
	안전 및 인허가
3. 청정화력 발전·효율화	가스화 공정 기술(석탄의 합성가스 전환 기술)
	합성가스 정제 및 발전 기술
	복합설비 기술(공정의 효율적인 운전을 위한 계측, 감시, 제어 기술)
	석탄 업그레이드 기술
	오염 저감 기술
4. 수력	수력터빈 설계 및 제작기술
	발전설비 설계 및 제작 기술
	설비 성능진단 및 평가 기술
	설비 감시제어 기술
	수력발전 자원 조사 및 개발 기술
5. 태양광	결정질실리콘 태양전지 기술
	차세대 태양전지 기술 (칼코지나이드기반(CIGS,CZTS,CTS)화합물박막,실리콘박막,염료감응및유무기복합형등)
	태양광발전(PV) 모듈 및 건물일체형 태양광발전(BIPV) 관련기술
	PV용 전력변환장치(PCS) 기술
	PV 관련 성능시험·평가기술
6. 태양열	태양열 집열 기술
	태양열 저장 기술
	태양열 난방/발전 시스템 운영 및 제어 기술

139) 오상진 외 (2022), 기후기술 수준조사 및 중점 육성분야 발굴, 녹색기술센터

7. 지열	지열난방 시스템
	지열 발전 시스템
	지열 융복합 기술
8. 풍력	(육상,해상) 풍력발전 시스템 및 부품 기술
	시스템 운송, 설치, 시공 기술
	단지 설계, 운영, 유지보수 기술
	계통 연계 기술
9. 해양에너지	조력발전
	조류발전
	파력발전
	해수온도차 발전
	염도차 발전
10. 바이오에너지	바이오매스 생산 기술(작물, 산림, 미세조류)
	고형 바이오연료 생산 기술(왕겨, RDF 등)
	수송용(액체, 가스) 바이오연료 생산 기술(바이오디젤, 에탄올, 가스 등)
	바이오매스 발전 기술(열, 전기 등)
11. 폐기물	고형연료 기술(SRF, Bio-SRF, 목재 펠릿 제조이용기술)
	열분해 유화 기술(고분자폐기물 이용 경유, 등유 생산 이용 기술)
	합성가스화 기술(열분해 및 유기성폐기물 혐기성 가스화 기술)
	소각열 회수 이용 기술(고효율, 저공해 소각기술 및 폐열 회수이용기술)
12. 수소제조	화석연료개질기술
	생물학적 수소제조기술(바이오매스)
	물분해 수소제조기술
13. 연료전지	알카리 (AFC)
	인산형 (PAFC)
	용융탄산염형 (MCFC)
	고체산화물형 (SOFC)
	고분자전해질형 (PEMFC)
	직접메탄올 (DMFC)
	시스템(개질기, 스택, 전력변환기, BOP)
14. 전력저장	전기화학에너지 저장 기술
	기계에너지 저장 기술
	열에너지 저장 기술
	위치에너지 저장 기술
15. 수소저장	고압압축저장 기술 (고압용기내부에수소기체압축저장)
	저온 수소 액화저장 기술
	고체수소저장 기술
	화학수소저장 기술

16. 송배전 시스템	광역 모니터링 및 제어 기술
	송전망 고도화 기술
	배전망 관리 기술
	기타 응용 기술
17. 전기지능화 기기	지능형전력계량시스템 기반 양방향 에너지 관리 시스템 기술
	수요반응 시스템
	ESS 및 EMS 연계 전력저장기술
	ESS 및 EMS 연계 스마트그리드 제어기술
18. 수송효율화	도로교통 기술
	철도교통 기술
	항공교통 기술
	해양교통 기술
19. 산업효율화	공장 에너지 관리 및 효율 개선 시스템 기술
	ICT 융합 스마트공장 기술
	공정 신기술
	원료대체 기술
20. 건축효율화	공급사슬관리 및 기업자원관리 기술
	패시브 기술 (자연환기, 고성능창문, 고기밀, 외단열, 외부차양, 자연채광, 옥상녹화)
21. CCUS	액티브 기술 (고효율보일러, 폐열회수환기장치, 고효율가전기기, 고효율LED, 신재생에너지적용, 건물에너지관리시스템)
	CO <sub>2</sub> 포집 기술
22. Non-CO <sub>2</sub> 저감	CO <sub>2</sub> 수송 및 저장 기술
	CO <sub>2</sub> 전환 및 활용 기술
	CH <sub>4</sub> 분리·정제·재활용·저감기술
	N <sub>2</sub> O 분리·정제·재활용·저감기술
23. 유전자원 & 유전개량	F-gases(HFCs, PFCs, SF <sub>6</sub> ) 분리·정제·재활용·저감 및 대체 기술
	Non-CO <sub>2</sub> 온실가스 통합관리기술(측정, 모니터링, 검증)
	작물 유전자원 수집 및 관리기술
	전통 및 분자 육종기술
	유용 외래유전자 도입기술
	작물 유전체 편집기술
환경재해내성 품종개량 기술	
	메탄 저감형 축산 기술

24. 작물재배 & 생산	종자 및 종묘 생산 기술
	경작 및 시설재배 기술
	비료 개선 및 활용 기술
	작물보호(병해충 방제, 기상재해 피해 경감 등)
25. 가축질병관리	진단·예방 기술
	검역·방역 기술
	확산방지 및 사후관리 기술
	동물의약품 개발 기술
	감염병 대응기술
26. 가공, 저장 & 유통	농축산 가공품 안전관리 기술
	에너지 저감 대체 가공 및 저장 기술
	스마트 유통시스템
27. 수계 & 수생태계	상수원 생태계 관리 기술
	수질오염총량관리 기술
	수생태 복원·관리 기술
	수생태 건강성 평가 기술
28. 수자원 확보 및 공급	이수
	치수
	모니터링
	대체 수자원 개발 기술
	관개 시스템
	인프라
	물순환
29. 수처리	상수원 수질오염 저감기술
	정수처리기술
	하폐수처리기술
	개별단위지역 방류수 처리 기술
30. 수재해 관리	수재해 모니터링-평가-예측 기술
	수재해 관리 및 대응 기술
	수재해 정보플랫폼 구축
31. 기후 예측 및 모델링	기후변화 원인규명 기술
	기후변화 관측 및 감시 기술
	기후변화 예측기술
	기후변화 모델링 및 영향평가 기술
32. 기후 정보 & 경보 시스템	극한기후 예측 기술
	극한기후 관측 기술
	예/경보 시스템(경보 전파 기술)
	극한기후 피해 예측 및 취약성 평가 기술

33. 해양생태계	해양생태계 서식지 보호 기술
	해양생물 보호 및 복원 기술
	해양생태계서비스 관리 기술
34. 수산자원	수산자원 조사 장비 개발 및 자료 분석 기술
	수산자원상태 평가 분석 기술
	어구 개발 기술
	시장성강화 및 회복(복원) 기술
	유해자원 산업적 활용 기술
	수산자원 정보시스템 관리 기술
35. 연안재해 관리	연안재해 유발인자 관측 및 정보 분석 기술
	연안재해 관측 정보 기반 재해 정보 경보 전파 기술
	재해인자별 취약성 및 리스크 평가 기술
	재해 예방, 저감, 복구 기술
36. 감염 질병 관리	전염병 조기감지 및 대응 기술
	신변종 감염병 진단 및 예방 기술(진단키트 및 백신 개발)
	제독 및 방역 기술
	감염병 정보 시스템 기술
37. 식품 안전 예방	비가열 살균 기술
	식품 안전 정보시스템 기술
	빅데이터 기반 사전 예측 모델링 기술
	생물학적 위해인자 규명 기술
	화학적 위해인자 규명 기술
38. 산림 생산 증진	산림분야 탄소 기술
	산림생명자원 바이오정보 활용 기술
	산림생명자원 소재화 활용 기술
	산림자원·산림소득자원 육성 및 관리기술
	목재제품 이용 확대 기술
39. 산림 피해 저감	산불위험 예측, 예방 및 저감기술
	산사태 취약성 평가, 예방 및 저감기술
	병해충 발생 감시, 변화예측 및 제어기술
	산림쇠퇴 모니터링 및 회복력 증진 기술
40. 생태 모니터링 & 복원	산림생물다양성 평가·보전 및 관리 기술
	산림생태계 특성 구명 및 생태적 산림관리 기술
	산림수자원 · 토양환경 보전 및 산림복원 기술
	생태 변화 모니터링 및 적응관리 기술
41. 신재생에너지 하이브리드	발전 및 열 생산 시스템
	산업단지 에너지 고도화 시스템
	주거·생활 분야 에너지 자립 및 저탄소 통합 시스템
	수송 분야 에너지 공급 인프라 시스템

42. 저전력 소모 장비	저전력 프로세서 기술
	저전력 네트워킹 기술
	센서데이터 최적화 및 관리 기술
	저전력 임베디드 OS 기술
	고온환경 운영 기술
43. 에너지하베스팅	압전소자 기반 에너지변환 기술
	열전 기반 에너지변환 기술
	광전 기반 에너지변환 기술
	전자기파 기반 에너지변환 기술
44. 인공광합성	이산화탄소 환원 촉매
	산소발생 촉매
	광전지화학적 셀
	광촉매

각 세부분류에 대한 기술개요, 기술수준, 기술을 보유한 대표기관, 기술 분야의 국내 강·약점 등에 대한 정보가 제공되고 있다. 이 중 기술수준, 기술격차, 최고기술 보유국, 기술 분야의 국내 강·약점에 대한 정보는 ‘2020 기술수준 조사’의 내용을 활용하였으며, 기술을 보유한 대표기관을 도출하기 위해 해외 학술논문 검색사이트인 Web of Science에서 최근 10년(2011~2021) 간 출판된 논문을 대상으로 세부기술 별 관련 논문을 검색하여 인용 횟수가 많은 상위 5개 기관을 선정하였다.

당해연도 플랫폼 구축에서 집중한 P2G 융합패키지와 관련된 기술 분야는 세부기술을 넘어 더 하위 구분인 세세부기술까지의 정보를 제공한다. 향후 융합패키지 분석이 확장됨에 따라 세세부기술 DB도 확충될 계획이다.

[그림 4-33] 기술 인벤토리 예시

### 기술인벤토리

대분류

중분류

소분류

조회

환경질 살리온태양전지 기술    차세대 태양전지 기술    PV용 전력변환장치(PCS) 기술  
 태양광발전(PV) 모듈 및 건물일체형 태양광발전(BIPV) 관련기술

기술개요

환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다.

기술수준

환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다.

대표기관

환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다.

강점

환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다.

한계

환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다. 환경질 살리온 태양전지 기술은 이러한 기술이다.

세세부기술

세세부기술 > 세세부기술 >

### 3. 융·복합 실증사례

앞장에서 기술한 바와 같이 발전규모 100kW 이상의 국내 융·복합 기후기술 실증사업을 수집하여 PLANET 내 융·복합 실증사례 메뉴에 위치 정보와 함께 수록하였다. 사용자는 지도 위에 표출된 융·복합 기후기술 실증사업 지점을 선택하면 해당 지점의 사업장 명칭, 발전 규모, 사업에 포함된 주요 기후기술, 사업의 주요 내용 등을 확인할 수 있다. 산재되어 있는 다양한 융·복합 기후기술 실증사업을 수집하여 사용자에게 융합 사업에 대한 아이디어를 제공하는 목적으로 구축된 본 메뉴는 향후 지속적인 업데이트로 콘텐츠를 확충해 나갈 예정이다.

[그림 4-34] 융·복합기술 내 융·복합 실증사례 메뉴 예시

The screenshot shows a web interface for '융·복합실증사례' (Hybrid Demonstration Cases). On the left is a map of South Korea with a red pin indicating the location of the project. On the right, the following details are displayed:

- 사업장명칭:** 왕산3호 소수력발전소
- 발전규모:** 120 KW
- 기후기술 종류:** 4.수력,12.수소제조,13.연료전지
- 사업장주소:** 전라남도 원도군 군외면 원동리 363
- 사업구분:** 에너지저장성 1~3단계 사업(11~16)
- 실증사업 주요내용:** 비닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전용 하고 전력의 일부를 이용하여 그린수소를 생산하여 수소연료전지 발전 추진 비닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전용 하고 전력의 일부를 이용하여 그린수소를 생산하여 수소연료전지 발전 추진 비닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전용 하고 전력의 일부를 이용하여 그린수소를 생산하여 수소연료전지 발전 추진 비닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전용 하고 전력의 일부를

### 4. 국외 융·복합사례

국외 융·복합사례 메뉴에서는 앞장에서 소개된 프랑스 Jupiter 1000, 독일 H<sub>2</sub>MARE와 같은 주요국의 융·복합 사례에 대한 정보를 제공한다.

[그림 4-35] 융·복합기술 내 국외 융·복합사례 메뉴 예시

The screenshot shows a web interface for '국외융·복합사례' (International Hybrid Demonstration Cases). It features a search bar and a list of project cards. The first card is titled 'NEW HOUSE 새로운 컨셉의 집이 탄생했습니다. ...' and includes a date of 2022.08.16. The right side of the interface shows the same project details as in Figure 4-34:

- 사업장명칭:** 왕산3호 소수력발전소
- 발전규모:** 120 KW
- 기후기술 종류:** 4.수력,12.수소제조,13.연료전지
- 사업장주소:** 전라남도 원도군 군외면 원동리 363
- 사업구분:** 에너지저장성 1~3단계 사업(11~16)
- 실증사업 주요내용:** 비닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전용 하고 전력의 일부를 이용하여 그린수소를 생산하여 수소연료전지 발전 추진 비닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전용 하고 전력의 일부를 이용하여 그린수소를 생산하여 수소연료전지 발전 추진 비닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전용 하고 전력의 일부를 이용하여 그린수소를 생산하여 수소연료전지 발전 추진 비닷물을 사용하는 육상 양식장의 버려지는 배출수를 활용하여 소수력발전용 하고 전력의 일부를

## 제 5 절 융·복합 기후기술 R&D 협업 지원 시스템 구축

PLANET은 융합혁신생태계 조성을 위한 디지털 협업도구로서 ‘온라인 협력’ 메뉴를 탑재하고 있으며, 하위 메뉴로 「기후문제제기」 「융복합기술제안」, 「신규사업정보」, 「협력제안」가 있다. 본 절에서는 각 하위 메뉴의 내용과 기능에 대하여 설명하고자 한다.

### 1. 기후문제제기

「기후문제제기」 메뉴는 이용자가 기후변화와 관련된 현안을 발굴·제안하기 위하여 구축되었다. 이용자는 이슈가 주로 발생하는 지역, 이슈에 대한 정보를 획득한 원자료의 출처, 그리고 제안한 이슈를 해결하는데 필요한 기후기술 등을 해시태그 기능과 함께 작성할 수 있다. 게시된 글은 해시태그 목록 등을 활용하여 검색이 가능하며, 해당 게시글에 대한 추천수를 통해 해당 현안에 대한 시급성이나 당위성을 간접적으로 파악할 수 있다. 댓글 기능을 활성화하여 플랫폼 상에서 각 현안에 대한 사용자들 간의 의견교환이 이루어질 수 있도록 하였다.

[그림 4-36] 온라인 협력 내 기후문제제기 메뉴 예시

The image shows two side-by-side screenshots of the PLANET web interface. The left screenshot shows the '기후문제제기' (Climate Issue Proposal) menu page. It features a search bar with the text '기후변화가 초래하는 이슈 제기' and a '검색하기' (Search) button. Below the search bar, there is a list of proposals, each with a title, a date, and a status. The right screenshot shows the '기후문제제기' (Climate Issue Proposal) form. It includes a '제목을 입력하세요.' (Enter title) field, a 'Tag' field with a note '##tag형식으로 입력해 주세요.' (Please enter in ##tag format), a '##분류' (Category) dropdown menu with a '추가' (Add) button, and '##이슈지역' (Issue location) and '##출처' (Source) fields. At the bottom right, there are '수정' (Edit), '등록' (Register), and '삭제' (Delete) buttons.

### 2. 융·복합기술제안

사용자는 「융·복합기술제안」 메뉴 우측 상단의 융복합 아이디어 등록 버튼을 사용하여 기후변화 문제를 해결하기 위한 융·복합 기후기술 패키지를 새롭게 제안할 수 있다. 사용자가 제안한 패키지가 어떠한 기후 현안과 관련이 있는지를 입력한 후, 패키지를 구성하는 세부기술들을 선택할 수 있다. 해당 패키지에 대한 부가적인 설명도 입력할 수 있다. 이렇게 입력된 패키지는 퍼즐 형태의 시각도구를 이용하여 사용자가 등록한 기술 패키지를 구성하는 세부기술을

시각화하고 이에 대한 정보를 파악할 수 있는 기능으로 구성되어 있다. 사용자에게 의해 제안된 융합기술패키지를 다른 사용자가 열람하고 이를 추천하거나 이에 대한 의견을 달 수 있는 기능을 생성하였다. 본 메뉴를 통해 사용자는 기후문제 해결을 위해 유망 기술을 발굴하고, 다양한 분야의 협력 파트너를 탐색할 수 있을 것으로 기대한다.

[그림 4-37] 온라인 협력 내 융·복합기술제안 메뉴 예시



### 3. 신규사업정보

NTIS의 국가 R&D 통합공고, 조달청 나라장터의 입찰공고에 게시되는 에너지 분야 사업을 하루 주기로 수집 및 갱신하여 PLANET에 게시하도록 구축하였다.

[그림 4-38] 신규사업정보 메뉴 예시





## 제 5 장 결 론

### 제 1 절 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PLANET) 활용과 시사점

본 연구에서는 2021년부터 다년도 연구과제로 시작하게 된 ‘융·복합 기후기술 데이터 정보 플랫폼 구축 및 인벤토리 연구’의 ‘정보화전략계획(ISP)’을 기반으로 ‘융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼’을 신규 구축하였다. 2022년 구축된 데이터 정보플랫폼의 주요 목적은 융·복합 기후기술 데이터 정보를 기반으로 기후문제해결을 위한 솔루션을 제공하기 위한 것으로, 이와 같은 취지에 맞추어 플랫폼의 명칭을 ‘PLANET (PLatform for the NET-zero technologies)’로 정하고 데이터 정보플랫폼 개발 목적에 맞는 주요 메뉴와 가능 설계를 추진하였다.

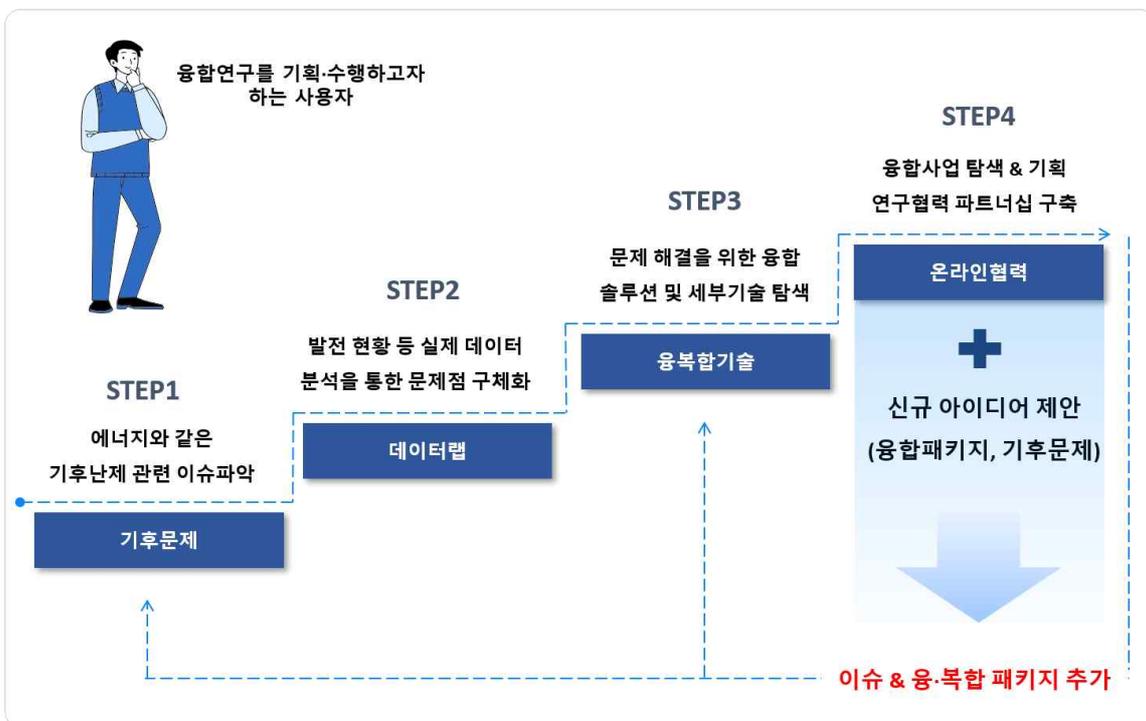
PLANET은 기후난제 해결이라는 임무지향형 플랫폼 도입을 통하여 융·복합 기후기술 데이터 정보를 통합적으로 제공하고 다양한 식견과 전문지식을 가진 이해관계자들이 소통·협업할 수 있는 공간으로서 활용하기 위하여 기획·구성되었다. 따라서 기후기술 정책결정자 및 연구자 등 R&D관련 전문가들을 정보플랫폼의 주요 고객으로 설정하고 플랫폼 기획 및 개발 단계에서부터 VOC를 청취하고 주요 기능에 반영하고자 하였다. 기후문제 해결형 플랫폼에서 다루고자 하는 기후난제의 범위는 워낙 넓고 다양하기 때문에 1차 구축된 데이터 정보플랫폼은 에너지 문제 해결을 위한 솔루션 중심으로 콘텐츠를 구성하였다.

상기의 목적으로 구축된 PLANET 시스템은 기후변화문제에 대한 현황 진단, 데이터 기반의 기후기술 정보, 융·복합 기후기술 솔루션 및 사용자 온라인 협력과 관련된 기능을 할 수 있도록 구성되었다. **첫째, ‘기후문제’** 연구에서는 신기후체제 하 에너지 산업에 내재되어 있는 주요 이슈들을 심층 분석하고 이를 해결하기 위한 기술수요 및 지원방안 등에 대하여 고찰하였다. 에너지 부문에서 도출된 7가지 주요 이슈들은 ① 에너지 믹스와 전환손실, ② 신재생에너지 간헐성, ③ 전력 수요-공급간 불일치, ④ 전력계통 한계 및 출력제한, ⑤ 주민 수용성, ⑥ 에너지 저장 장치의 한계 및 안전성, ⑦ 경제적 타당성 등으로 요약될 수 있다. 이와 같은 에너지 이슈들은 PLANET 상에서 인포그래픽과 상세 내용보기로 구성하고 현황과 문제점을 쉽게 파악할 수 있도록 요약하였다. **둘째, ‘데이터Lab’** 부문에서는 **국내 지역에 한정하여** 사용자가 GIS 기반으로 태양광 및 그린수소 생산과 관련된 데이터 정보들을 파악할 수 있도록 하였다. 제공되는 데이터 정보들은 공공데이터포털을 통해 개방·제공되고 있는 신재생에너지 발전량 등을 기반으로 표준화, 품질관리 과정 등을 통하여 데이터베이스화 되었고, GIS 기반의 시각화 자료를 통해 지역별 온실가스 감축량 및 그린수소 잠재량 등을 예측할 수 있도록 하였다. **셋째, ‘융·복합 기술’** 연구에서는 에너지 이슈에 대한 융·복합 기술 솔루션 정보 제공을 목적으로 기술 패키지, 기술 인벤토리, 국내·외 융·복합 실증사례 등의 메뉴 및 기능을 구성하였다. 특히, 에너지 문제 해결을 위한 핵심 융·복합 기후기술 패키지로 선정된 P2G 및 HyBECCS와 관련하여 각 패키지를 구성하는 세부 기술 인벤토리와 데이터베이스를 구축함으로써 향후 신재생에너지 RD&D 방향성을 제시하고자 하였다. 특히, P2G 기술패키지는 탄소중립을 위한 에너지 믹스 전략에서 그린수소라는 대체 에너지원의 주요 생산수단인 동시에 재생에너지 간헐성 문제를 해소할 수 있는 장기 에너지 저장기술로서 에너지문제 솔루션이 될 것으로 기대된다. 수전해 기술을 이용한 그

린수소 생산방법이 향후 가격경쟁력을 갖추기 위해서는 당분간 MW급 이상의 P2G 실증사업을 통한 규모 확대와 지원정책 등이 필요하겠지만, 지속적인 혁신 융·복합 기후기술개발과 적용처 확대 등을 통하여 경제적 타당성이 크게 개선될 것으로 기대된다. 넷째, ‘온라인협력’ 관련 기능을 구축하여 융·복합 기후기술 R&D 협업을 적극 지원하고자 하였다. 정보플랫폼 운영자에 의하여 제공되는 정보들과 함께 사용자의 의해서 제공되는 다양한 정보들이 공유됨으로써 협업을 위한 소통의 창구 기능을 할 수 있도록 하였다. PLANET 회원으로 승인을 받은 사용자는 ‘기후문제 제기’ 및 ‘융·복합 기술 제안’ 등을 통하여 커뮤니티 공간에서 유망 기술들을 함께 발굴하고 다양한 분야의 협력파트너와 소통할 수 있도록 하였다. 이와 같은 긴밀한 협력체계 구축과 정보 공유 지원을 통하여 문제해결형 R&D 과제 및 사업기획을 포함한 다양한 형태의 실효적 협업을 기대하고 있다.

전술한 바와 같이 PLANET은 융·복합 기후기술 연구개발 전과정(아이디어생성 및 개발-연구지원비 확보-실험 및 분석-성과 창출 및 확산)을 지원하기 위해 구축되었다. [그림 5-1]은 PLANET의 각 메뉴들을 연계한 활용방안의 예시를 나타내고 있다.

[그림 5-1] PLANET 메뉴 간 연계 예시



기후문제, 데이터 Lab에서 제공되는 정보를 바탕으로 융·복합 기후기술 연구기획 대한 아이디어를 창출하고 융·복합기술 메뉴로부터 융·복합연구 수행을 위한 기술정보(패키지 및 세부 기술)를 획득 가능하다. 데이터 Lab 메뉴의 개설취지는 단순 정보의 전달을 넘어 지역별 태양광·풍력의 설비용량 대비 발전설비 이용률 현황 파악을 통해 사용자로 하여금 해당 발전 시설 운영의 문제점을 파악하고 이를 해결하기 위한 융·복합적 솔루션 모색을 지원하고자 구축되었다. 이처럼 기후문제와 데이터 Lab에서 융·복합사업을 통해 해결하고자 하는 문제를 정의하고, 이를

해결하기 위한 기술적 해법을 융·복합 기술 메뉴 내 국내·외 기술 정보를 통해 모색한다. 온라인 협력 메뉴 내 신규사업정보를 통해 국가 R&D사업 및 과제를 모니터링하고 협력 제안을 통해 국가 R&D 사업 수행을 위한 연구자를 탐색할 수 있다. 이밖에 협력 제안 공간을 연구개발 과정 단계에 따라 개설하여 각 단계별 온라인 의사소통의 환경을 제공한다. PLANET 로그인 시 스크랩 기능을 통해 PLANET에서 제공되는 정보를 선별하여 보관할 수 있다. 데이터 Lab-My발전소에서 조회했던 사용자 선정 위치 예상 태양광 발전량, 신재생에너지 실제 발전현황, 온실가스 배출량, 지자체 에너지 계획 등을 스크랩하고 이렇게 선별된 정보를 토대로 융합 기획을 추진할 수 있는 시스템 상의 기능을 탑재하고 있다.

## 제 2 절 향 후 플랫 폼 고도 화 및 인 프 라 구 축 방 안

융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PANET) 개발과 관련하여 사전 검토되었던 이해관계자 수요 조사 결과를 살펴보면, 대부분 데이터 정보플랫폼의 필요성에 대해서는 공감하였고 향후 지속적인 디지털화 과정을 통하여, 정보의 단순 전달보다는 임팩트 있는 데이터 통합분석 등의 기능 고도화를 요청하였다. 데이터 정보 활용 측면에서는 탄소중립 이행을 위한 에너지 및 탄소흐름 파악이 우선적으로 수행되어야겠지만, WEF Nexus와 같이 다른 기술·산업 부문의 데이터들도 통합·연계·분석하여 융·복합적 통합 솔루션을 제공하는 것도 기대하였다. 또한 플랫폼의 정보수집·분석 기능과 함께 기후난제를 포함한 도전과제의 기획 및 다학제 협력 네트워크 협력 허브로 확대·활용하는 것을 제안하였다. 이와 같은 PLANET 수요들을 간략하게 정리해보면, ① 기후 기술 정보공유 및 확산, ② 문제해결형 도전과제 발굴, ③ Best practice 기반 융합연구 기획, ④ 다학제 기후기술협력 네트워크 활용 등으로 요약될 수 있다.

PLANET은 별도의 도메인을 가지고 운영되는 플랫폼이 아닌 국가기후기술정보시스템(CTis)의 하위 플랫폼으로 기획·개발되었다. 따라서 현재 녹색기술센터에서 수시과제로 추진되고 있는 ‘CTis 고도화 및 지식공유 활성화 방안’ 과 연계하여 지속적인 기능강화와 콘텐츠 확대가 요구된다. 우선, 2022년 에너지 문제에 한정하여 추진되었던 문제해결형 융·복합 기후기술 패키지 분야를 적용분야까지 확대·적용하거나 타 연구과제에서 수행중인 탄소중립 시뮬레이션 및 시나리오 모형 등의 연구결과를 주요 콘텐츠로 확장하는 부분들은 단기적으로 연계·활용이 가능할 것으로 보인다. 중장기적으로는 CTis 운영평가(‘21.10)에서 제기되었던 개선방안들 중, 신규 정보화 기능, 효율적 시스템 운영을 위한 데이터 현행화, 수요자 맞춤형 고도화 기획 및 전략 수립 필요성 등을 지속적으로 반영하여 인프라 확충 및 정보화 활용도를 제고해 나가는 것이 필요하다. 향후, 플랫폼에서 추구하는 데이터정보 기반의 기후문제 솔루션 기능과 함께 기술협력허브로서의 역할이 보다 활성화될 수 있도록 효율적인 플랫폼 운영 및 지원 방안이 마련될 예정이다. 마지막으로 PLANET의 지속적 운영과 고도화를 통하여 국가 탄소중립 목표 이행과 기후변화대응을 위한 유망 융·복합 기후기술들을 선제적으로 발굴하고 기술협력 및 성과확산을 통하여 기후기술리더십을 발휘할 수 있기를 기대한다.



[별 첨 2] 융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼 전문가 설문조사

## 융복합 기후기술 데이터 정보플랫폼(PLANET)

### 전문가 만족도 조사

기후기술 정보플랫폼 PLANET(Platform for the NET-zero technologies)이 구축됨에 따라 전문가분들의 고견을 청취하여 개선방안을 마련하고자 합니다.

※ 설문내용은 연구 목적 이외에는 절대 이용되지 않으며, 통계법 제33조 (비밀의 보호 등) 및 34조 (통계작성사무 종사자 등의 의무)에 따라, 비밀이 보장됩니다.

「통계응답자의 의무 및 보호에 관한 법률」

제33조 (비밀의 보호)

① 통계의 작성과정에서 알려진 사항으로서 개인이나 법인 또는 단체 등의 비밀에 속하는 사항은 보호 되어야 한다.

② 통계의 작성을 위하여 수립된 개인이나 법인 또는 단체 등의 비밀에 속하는 자료는 통계작성 외의 목적으로 사용되어서는 아니된다.

#### I. 전문가 정보

구분	내 용
성명	
소속/직위	
연락처	(사무실) (핸드폰) (이메일)

#### II. PLANET 종합평가

**문1)** PLANET은 탄소중립 이행 지원과 기후난제에 대한 솔루션 마련을 위해 융·복합 기후기술 관련 정보 및 데이터를 제공하고 온라인 협력을 지원하는 플랫폼입니다. 홈페이지가 **구축하고자 하는 목적과 잘 부합한다고** 생각하십니까?

- ① 매우 잘 부합한다
- ② 잘 부합한다
- ③ 보통
- ④ 부합하지 않는다
- ⑤ 매우 부합하지 않는다

[참고: PLANET 메뉴구성]

기후문제	데이터Lab	융·복합기술	온라인협력
에너지	My발전소 신재생에너지 발전현황 발전량 및 온실가스 배출량 지자체 에너지계획	기술패키지 기술인벤토리 융·복합실증사례 국외융·복합사례	기후문제제기 융·복합기술제안 신규사업정보 협력제안

문2) 융복합 기후기술 정보플랫폼(PLANET)의 메뉴 구성이 잘 되어 있습니까?

- ① 네(3번 질문으로 이동)
- ② 아니오(2-1번 질문으로 이동)

문2-1) 만족하지 않는다면 이유는 무엇입니까?

---

문3) PLANET의 제공 콘텐츠 중 가장 강조되어야 할 콘텐츠는 무엇이라고 생각합니까?

- ① MY 발전소
- ② 신재생에너지 발전현황
- ③ 발전량 및 온실가스 배출량
- ④ 지자체 에너지계획
- ⑤ 기술패키지 및 인벤토리
- ⑥ 융복합 실증사례
- ⑦ 온라인 협력
- ⑧ 기타 : \_\_\_\_\_

### Ⅲ. PLANET 카테고리별 세부 평가

▶ [4~7] 기후문제 카테고리와 관련된 질문입니다.

**문4)** [기후문제] 사용자 인터페이스(디자인, 편의성 등)가 잘 구축되었다고 생각하십니까?

- ① 그렇다
- ② 약간 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 약간 그렇지 않다
- ⑤ 그렇지 않다

**문5)** [기후문제] 제공하는 콘텐츠가 정보 면이나 질적으로 유용합니까?

- ① 그렇다
- ② 약간 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 약간 그렇지 않다
- ⑤ 그렇지 않다

**문6)** [기후문제] 어느 사용자에게 가장 유용한 정보라고 생각하십니까?

- ① 정책결정자
- ② 연구자
- ③ 사업자
- ④ 학생
- ⑤ 일반사용자

**문7)** [기후문제] 콘텐츠 및 인터페이스와 관련하여 의견이 있으시면 기술해주시기 바랍니다.

\* 추가로 제공을 희망하는 콘텐츠, 불만사항(속도, 화면구성) 등

---

▶ [8~11] 데이터Lab 카테고리와 관련된 질문입니다.

**문8)** [데이터Lab] 사용자 인터페이스(디자인, 편의성 등)가 잘 구축되었다고 생각하십니까?

- ① 그렇다
- ② 약간 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 약간 그렇지 않다
- ⑤ 그렇지 않다

**문9)** [데이터Lab] 제공하는 콘텐츠가 정보 면이나 질적으로 유용하십니까?

- ① 그렇다
- ② 약간 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 약간 그렇지 않다
- ⑤ 그렇지 않다

**문10)** [데이터Lab] 어느 사용자에게 가장 유용한 정보라고 생각하십니까?

- ① 정책결정자
- ② 연구자
- ③ 사업자
- ④ 학생
- ⑤ 일반사용자

**문11)** [데이터Lab] 콘텐츠 및 인터페이스와 관련하여 의견이 있으시면 기술해주시기 바랍니다.

\* 추가로 제공을 희망하는 콘텐츠, 불만사항(속도, 화면구성) 등

---

▶ [12~15] 융복합기술 카테고리과 관련된 질문입니다.

**문12)** [융복합기술] 사용자 인터페이스(디자인, 편의성 등)가 잘 구축되었다고 생각하십니까?

- ① 그렇다
- ② 약간 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 약간 그렇지 않다
- ⑤ 그렇지 않다

**문13)** [융복합기술] 제공하는 콘텐츠가 정보 면이나 질적으로 유용합니까?

- ① 그렇다
- ② 약간 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 약간 그렇지 않다
- ⑤ 그렇지 않다

**문14)** [융복합기술] 어느 사용자에게 가장 유용한 정보라고 생각하십니까?

- ① 정책결정자
- ② 연구자
- ③ 사업자
- ④ 학생
- ⑤ 일반사용자

**문15)** [융복합기술] 콘텐츠 및 인터페이스와 관련하여 의견이 있으시면 기술해주시기 바랍니다.

\* 추가로 제공을 희망하는 콘텐츠, 불만사항(속도, 화면구성) 등

---

▶ [16~19] 온라인협력 카테고리와 관련된 질문입니다.

**문16)** [온라인협력] 사용자 인터페이스(디자인, 편의성 등)가 잘 구축되었다고 생각하십니까?

- ① 그렇다
- ② 약간 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 약간 그렇지 않다
- ⑤ 그렇지 않다

**문17)** [온라인협력] 제공하는 콘텐츠가 정보 면이나 질적으로 유용합니까?

- ① 그렇다
- ② 약간 그렇다
- ③ 보통이다
- ④ 약간 그렇지 않다
- ⑤ 그렇지 않다

**문18)** [온라인협력] 어느 사용자에게 가장 유용한 정보라고 생각하십니까?

- ① 정책결정자
- ② 연구자
- ③ 사업자
- ④ 학생
- ⑤ 일반사용자

**문19)** [온라인협력] 콘텐츠 및 인터페이스와 관련하여 의견이 있으시면 기술해주시기 바랍니다.

\* 추가로 제공을 희망하는 콘텐츠, 불만사항(속도, 화면구성) 등

**IV. 총평**

**문20)** PLANET(기후기술정보플랫폼)에 대한 조언 및 기대 사항 등을 자유롭게 기재해주시요.

[Empty dotted-line box for writing answers]

설문에 응해주셔서 감사합니다.

## 참 고 문 헌

- 1) 과학기술정책지원서비스, *융합기술*. 2022.10.21. 접속.  
<https://han.gl/nFWGF>
- 2) OECD. (2020), "Addressing societal challenges using transdisciplinary research", *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, No. 88, OECD Publishing, Paris
- 3) Wright Morton, L., S. Eigenbrode and T. Martin (2015), "Architectures of adaptive integration in large collaborative projects", *Ecology and Society*, Vol. 20/4
- 4) DECHEMA. (2016). Visionspapier : Energie Generation 2030
- 5) <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/ariadne>
- 6) <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/06/20210602-Bundesregierung-startet-Wasserstoff-Kompass.html>
- 7) H2KOMPASS. (2022). Auf dem Weg in die Wasserstoffwirtschaft : Resultate der Stakeholder\*innen-Befragung.
- 8) <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de>
- 9) ANR. (2022). Appel à projets générique 2023, Version 2.0.
- 10) <https://anr.fr/Projet-ANR-19-CE03-0002>
- 11) <https://www.belmontforum.org/>
- 12) <https://anr.fr/fileadmin/documents/2020/Pathways2020Announcement-PressRelease.pdf>
- 13) Belmont Forum. (2021). "Pathways to Sustainability Project Brochure." 2022.10.25. 접속.  
<https://belmontforum.org/wp-content/uploads/2021/09/Pathways-Project-Brochure.pdf>
- 14) National Audit Office. (2021). UK Research and Innovation's management of the Industrial Strategy Challenge Fund, Session 2019-2021, 5 February 2021.
- 15) <https://www.ukri.org/what-we-offer/our-main-funds/industrial-strategy-challenge-fund/clean-growth/>
- 16) <https://han.gl/SPryu>
- 17) UKRI. (2022). Smart local energy systems: the energy revolution takes shape. 2022.10.18. 접속  
<https://han.gl/amDPL>
- 18) C.Vigurs, C.Maidment, M.Fell and D.Shipworth. (2022). "What works for multi-stakeholder, multi sector collaborations for smart local energy systems?", EnergyRE

V. 2022.10.11. 접속.

<https://han.gl/ltpSjo>

- 19) <https://www.ukri.org/what-we-offer/international-funding/global-challenges-research-fund/#contents-list>
- 20) UKRI. (2021). Update following 2021 Spending Review-GCRF and Newton Fund – 18 November 2021.
- 21) BEIS. (2022). Stage 1a: Review of Management Processes : Evaluation of the Global Challenges Research Fund.
- 22) UKRI. (2019). UKRI GCRF Global Interdisciplinary Research Hubs: Building global research communities to develop innovative and sustainable solutions for international development.
- 23) OECD(2020), op. cit.
- 24) <http://www.sunrisenetwork.org/news/community-involvement-with-the-people-of-khuded>
- 25) <https://tdlab.usys.ethz.ch/research/advancing.html>
- 26) <https://www.fona.de/de/massnahmen/forschungsinfrastrukturen/>
- 27) <https://www.fona.de/de/massnahmen/forschungsinfrastrukturen/institute-for-advanced-sustainability-studies-iass-potsdam.php>
- 28) NESTA. (2014). DIY Development Impact & You : Practical Tools to Trigger & Support Social Innovation. 2022.10.25. 접속.  
<https://www.rockefellerfoundation.org/wp-content/uploads/DIY-Toolkit.pdf>
- 29) <https://www.jst.go.jp/ristex/stipolicy/program/>
- 30) [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/kagaku/kihon/1348022.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/kihon/1348022.htm)
- 31) <https://www.jst.go.jp/ristex/variety/sogochi/index.html>
- 32) 관계부처 합동. (2018). 제2차 과학기술 기반 국민생활(사회)문제 해결 종합계획('18~'22)(안), 국가과학기술자문회의 심의회의 안건(2018.6.29.) 의안번호 제4호.
- 33) <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/10/20221004-bmbf-und-bmwk-starten-gemeinsamen-foerderaufruf-zu-gruenem-wasserstoff-und-gruener-chemie.html>
- 34) <https://wasserstoffatlas.de/>
- 35) Innovate UK. (2016). How Catapults can help your business innovate. 2022.10.11. 접속  
<https://han.gl/psBBn>
- 36) <https://usmart.io/org/esc>
- 37) <https://usmart.io/org/esc/discovery/discovery-view-detail/2b29ee19-5f0a-487c-b351-38fb593bd03f>

- 38) 標葉隆馬. (2020), 萌芽的科学技术を巡るELSI/RRI議題の洞察 - 先端生命科学の事例から(발표자료), 大阪大学.
- 39) <https://www.ntis.go.kr/scisoplatform/main.do>
- 40) 이희권 외(2021), 범부처 사회문제해결 기반 구축, 한국과학기술기획평가원.
- 41) 国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター. (2022). 戦略プロポーザル: ミッション志向型科学技術イノベーション政策と研究開発ファンディングの推進, 提言・提案 CRDS-FY2022-SP-01.
- 42) 녹색기술센터(2020), 문제해결을 위한 융·복합 녹색기후기술 도출 및 적용을 위한 전략연구
- 43) 산업통상자원부(2019), 제3차 에너지기본계획
- 44) 에너지경제연구원(2021), 에너지 통계월보 Vol. 37-10
- 45) World Nuclear Association and IAEA Power Reactor Information Service, World Nuclear Performance Report 2021, 2021
- 46) IEA. (2021), Global Energy Review: CO2 Emission in 2020
- 47) 에너지경제연구원, 자주 찾는 에너지 통계, 2021
- 48) 현대경제연구원, 에너지 수급 불균형 해소를 위한 생산 효율성 제고 방안, Weekly Economic Review, 2015
- 49) DOE, Land-Based Wind Market Report: 2021 Edition
- 50) 한국풍력산업협회, [http://www.kweia.or.kr/bbs/page.php?hid=sub02\\_01](http://www.kweia.or.kr/bbs/page.php?hid=sub02_01)
- 51) 윤진아, 김연희, 최희욱(2021). "고해상도 규모상세화 수치자료 산출체계를 이용한 남한의 풍력기상자원 특성 분석", *한국기상학회*, Vol.31, no1, pp.1-15
- 52) IEA, IEA Wind 2014 Annual Report
- 53) 김현구, 강용혁, 김창기(2017). "전력통계정보시스템 (EPSIS) 풍력발전자료에 의한 국내 풍력발전 현황 및 이용률 분석", *풍력에너지저널*, Vol.8, No.2, pp.24-30.
- 54) 한국에너지기술평가원, "그린에너지뉴딜 브리프", 2020
- 55) 이태의(2020), 제주도의 재생에너지 확대와 전력계통의 안정적 운영 방향, 에너지경제연구원
- 56) 제주테크노파크 정책기획단(2021), 신재생에너지 초과발전 대책 및 잉여전력 활용 방안
- 57) 장길수(2020), 변동성 재생에너지원 확대에 따른 전력계통에서의 문제와 대응, *전기저널* 스페셜 이슈
- 58) 전력거래소(2020), 재생에너지 증가에 따른 전력안보 확보 방향 세미나 발표자료
- 59) 산업통상자원부(2021), 분산에너지 활성화 추진전략
- 60) Wüstenhagen, Rolf & Wolsink, Maarten & Burer, Mary Jean.(2007). "Social Acceptance of Renewable Energy Innovation: An Introduction to the Concept." *Energy*

*Policy*. Vol.35, Issue 5, pp.2683-2691

- 61) 이철용(2014). 신재생에너지에 대한 지불의사액 추정 및 사회적 수용성(PA) 제고 방안 연구, 기본연구보고서 14-13, 에너지경제연구원
- 62) 이상훈·윤성권(2015). 재생에너지 발전설비에 대한 주민 수용성 제고 방안. 환경법과 정책 제15권
- 63) 이승문·정성삼(2019). 신재생에너지 수용성 개선을 위한 이익공유시스템 구축 연구, *KEEI 정책 이슈페이퍼* 19-06, 에너지경제연구원
- 64) Mitchell D. Scovell. (2022). Explaining hydrogen energy technology acceptance: A critical review. *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 47. Issue 19, 2022.
- 65) 국민권익위원회. 태양광 발전 관련 민원 분석 결과(요약), 국민권익위원회 보도자료, 2021
- 66) 박성우·전의찬(2022). 풍력발전사업의 주요 장애요인 분석과 시사점 -풍력발전 사업 주체의 관점에서-, *한국기후변화학회지* Vol. 13. No. 1, pp. 011~021
- 67) 이해정·허성윤·우종률·이철용(2020). 신재생에너지 발전 사업에 대한 국민 및 지역 주민수용성 비교연구 - 태양광, 풍력, 바이오 발전을 중심으로, *한국혁신학회지* vol. 15. no. 1, pp. 26-62
- 68) 신동현. 고품연료 발전시설 관련 주민 수용성 연구, 자체 연구보고서 20-01, 에너지경제연구원, 2020
- 69) Emily Cox & Steve Westlake(2022). Public perceptions of low-carbon hydrogen. *UK Energy Research Center News*
- 70) 한국에너지공단 신재생에너지센터 블로그. 2022.10.11. 접속.  
<http://blog.energy.or.kr/?p=24017>
- 71) 주 OECD 대표부. 행동과학(Behavioral insights)을 통한 정책분석사례, OECD 정책동향, 2019
- 72) 대한민국 특허청, "전력계통에서의 주파수 제어 시스템", 2015
- 73) 윤성진(2017), "에너지 저장장치 시장 동향 분석 보고서", 연구성과실용화진흥원, S&T Market Report, Vol.48
- 74) ESS 사고원인 조사결과 및 안전강화 대책 발표, 산업자원통상부, 2019
- 75) ESS 안전강화 대책 참고자료, 관계부처 합동, 2019
- 76) Energy Storage System Guide for Compliance with Safety Codes and Standards, *US Department of energy*. 2016
- 77) 전력 저장 장치(ESS)최신연구동향, *기계저널*, Vol. 60, No.1, 2020
- 78) 2020년 리튬이온 이차전지 양극재 기술동향 및 시장전망 보고서, SNE리서치
- 79) 2050년엔 무탄소 사회 목표, 태양광·풍력 3%→60%로, 조선일보, 2021

- 80) 에너지전환정책 대국민 인식 조사 보도자료, 전국경제인연합회, 2021
- 81) 한국전력공사 홈페이지  
<https://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/H/C/CYHCHP00211.jsp>
- 82) 탄소중립 비용 전기료에 더 반영된다...전기료 계속 오를 듯, 한국경제, 2022
- 83) Renewabel Power Generation Costs in 2020, *IRENA*, 2021
- 84) 세계 에너지시장 인사이트 제21-14호, 에너지경제연구원, 2021
- 85) Green Hydrogen Cost Reduction, *IRENA*, 2020
- 86) 재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영(1/5), 에너지경제연구원, 2020
- 87) 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처합동, 2019
- 88) BMZ. (2021). "BMZ-Kernthemenstrategie : "Verantwortung für unseren Planeten – Klima und Energie", BMZ Papier6
- 89) Le Figaro. Premier projet "Power to gas" à Marseille, Publié le 30/03/2016 à 15:02, 2016  
<https://www.lefigaro.fr/flash-eco/2016/03/30/97002-20160330FILWWW00220-premier-projet-power-to-gas-a-marseille.php>
- 90) Sciences et Avenir. (2022). REPORTAGE. Jupiter 1000, une centrale qui stocke l'électricité renouvelable sous forme d'hydrogène et de méthane, 2022.7.5.(Retrieved from : [https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/petrole-et-gaz/reportage-jupiter-1000-une-centrale-qui-stocke-l-electricite-renouvelable-sous-forme-d-hydrogene-et-de-methane\\_164788](https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/petrole-et-gaz/reportage-jupiter-1000-une-centrale-qui-stocke-l-electricite-renouvelable-sous-forme-d-hydrogene-et-de-methane_164788))
- 91) GRTgaz. (2022). Jupiter 1000 : Démonstrateur industriel de Power-to-Gas, Presentation Version Aout 2022.
- 92) 資源エネルギー庁. (2022). 第2回国内メタネーション事業実現タスクフォース 資料3.
- 93) <https://energynews.biz/h2mare-gets-e100m-from-bmbf/>
- 94) BMBF 홈페이지  
[https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/steckbrief-h2mare.pdf?\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/steckbrief-h2mare.pdf?_blob=publicationFile&v=1)
- 95) <https://www.energyprojectstechnology.com/siemens-to-unlock-new-era-of-offshore-green-hydrogen-production/>
- 96) 김선동(2018). 고온수전해 수소 제조 연구 동향(수소경제 사회 실현을 위한 지속 가능한 수소 제조 기술). Special Theme 에너지 변환 및 저장소재, 전기 전자와 첨단소재 Vol. 31. No.6, *한국전기전자재료학회*.
- 97) TECHNOVA(2022). 水素社会構築技術開発事業 / 総合調査研究 / 革新的水素製造技術等に関する海外研究動向調査 (海水電解技術に関する動向調査). NEDO水素・燃料

電池成果報告会2022(2022年7月29日) 発表No.E-13.

- 98) <https://www.gov.uk/government/publications/direct-air-capture-and-other-greenhouse-gas-removal-technologies-competition/projects-selected-for-phase-2-of-the-direct-air-capture-and-greenhouse-gas-removal-programme>
- 99) <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-beccs-innovation-programme-successful-projects/hydrogen-beccs-innovation-programme-phase-1-successful-projects>
- 100) HM Government. (2020). The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution : Build back better, supporting green jobs, and accelerating our path to net zero.
- 101) BEIS. (2020). Introduction to the Competition, September 2020.(Retrieved from : <https://han.gl/aVLEb>)
- 102) 이하 공정 등에 관한 세부 내용은 ABSL et al. (2021). Hydrogen GGR Demonstration Project Project Report, BEIS Direct Air Capture and Greenhouse Gas Removal Technology Innovation Programme.을 내용을 정리하여 작성.
- 103) <https://www.gov.uk/government/publications/hydrogen-beccs-innovation-programme>
- 104) 암발효, 혐기성소화, 폐수처리 등 CCS와 연계될 수 있는 새로운 바이오수소 기술 개발
- 105) Power to gas 기술개용 및 현황, 고경호, 2014
- 106) 정보화전략계획(ISP) 수립 공통가이드 (제5판)
- 107) 노영희, 박민수, 이광희(2020), 융합연구 활성화를 위한 연구 성과와 정책결정의 영향관계에 관한 연구, *한국콘텐츠학회논문지*, Vol. 20, No. 9
- 108) 한국과학기술연구원 융합연구정책센터 (2014), 융합연구 모범사례집
- 109) 한국과학기술연구원 융합연구정책센터 (2021), 2021년도 융합연구연감
- 110) 공공기관의 데이터베이스 표준화 지침. 행정안전부고시 제2021-32호
- 111) Ritz. D. (2022). Readability in Modern Data Policy
- 112) Gal. M. S. & Rubinfeld. D. L. (2019). Data Standardization
- 113) Briney. K. (2015). Data Management for Researchers: Organize, maintain and share your data for research success
- 114) 공공데이터포털, <https://www.data.go.kr/>
- 115) <https://dataonair.or.kr/db-tech-reference/d-guide/da-guide/?mod=document&uid=269>
- 116) Santos, O. (2018). How to Quantify PV Plant Performance. <https://www.linkedin.com/pulse/how-quantify-pv-plant-performance-osvaldo-santos>
- 117) <https://www.law.go.kr/행정규칙/공공부문온실가스.에너지목표관리운영등에관한지침>

- /(2020-304,20201230)
- 118) 온실가스종합정보센터, <http://www.gir.go.kr/home/main.do>
- 119) 국토교통부, <http://www.molit.go.kr/portal.do>
- 120) 김지민, 임성원, 알사예드, 프라카시움, 김동훈. (2021). 국내 유기성폐기물의 바이오수소 잠재량 분석. *J Korean Soc Environ Eng.* 2021;43(9):591-600
- 121) 이태의. (2020). 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구, 에너지경제연구원
- 122) 천강, 김진수. (2020). 주요국의 수소경제 지원 정책과 시사점, *한국자원공학회지*. Vol.57, No.6, pp.629-639.
- 123) 박정호, 김창희, 조현석, 김상경, 조원철. (2020). 재생에너지 기반 그린 수소 생산 시스템의 기술 경제성 분석. *한국수소및신에너지학회논문집*. Vol.31, No.4, pp.337-344
- 124) 현대자동차 NEXO 제원, <https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/nexo/spec>
- 125) 2030 국가온실가스 감축목표(NDC) 상향안
- 126) 전력통계정보시스템, <https://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/>
- 127) 한국전력공사, <https://home.kepco.co.kr/kepco/main.do>
- 128) 국가온실가스 종합관리시스템, <https://ngms.gir.go.kr/main.do>
- 129) 산업통상자원부, <http://www.motie.go.kr/www/main.do>
- 130) <https://www.law.go.kr/법령/에너지법>
- 131) 신현우 외 (2020), 문제해결형 융·복합 녹색·기후기술 도출 및 적용을 위한 전략연구, 녹색기술센터
- 132) 신현우 외 (2021), 융복합 기후기술 기반의 데이터 플랫폼 구축 및 인벤토리 연구, 녹색기술센터
- 133) 오상진 외 (2022), 기후기술 수준조사 및 중점 육성분야 발굴, 녹색기술센터





---

융·복합 기후기술 데이터 정보플랫폼  
구축 및 인벤토리 연구

---

인 쇄 | 2022년 12월  
발 행 | 2022년 12월  
발행인 | 이상협  
발행처 | 국가녹색기술연구소  
인쇄처 | 동진문화사

※ 동 보고서의 내용에 문의 사항이 있는 경우 아래로 연락주시기 바랍니다.

국가녹색기술연구소(NIGT) 기술총괄부

· 주소 서울특별시 중구 퇴계로 173  
남산스퀘어 17층(우 04554)  
· 전화 02-3393-3931  
· 이메일 hwshin@gtck.re.kr

