

기술 융·복합에 의한 기후변화대응의 현황 및 시사점

녹색기술센터 정책연구부 성민규 연구원, 오상진 연구원, 김형주 책임연구원

TECHNOLOGICAL
CONVERGENCE / INTEGRATION



CONTENTS

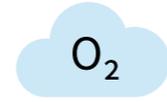
3 요약

4 01. 기후기술 융·복합의 배경 및 필요성

8 02. 기후기술 융·복합과 관련한 장애요인

14 03. 국내외 기후기술 융·복합 사례

16 04. 기후기술 융·복합 활성화를 위한 제언



요약



- 기후변화대응기술(기후기술)을 강조하는 신기후체제와 복잡한 양상을 띠는 기후변화 문제에 대응하기 위해 기후기술 융·복합의 필요성이 대두
- 감축 및 적응의 기후기술 간 뿐만 아니라 ICT 등 타 기술과 연계 및 기술별 맞춤형 정책, 제도, 자원, 역량강화를 포함하는 넓은 범위로 융·복합의 고려 필요
- 현재까지의 기후기술 융·복합 사례는 에너지, 그 중에서도 전력 부문에 치우친 경향이 있음
- 기술적 측면에서 선진국 대비 기술 기반이 부족하고, 단위요소개발 위주의 연구에 치우쳐 있는 경향성이 존재하며 특히 기후변화 적응 분야와의 융·복합 강화가 필요
- 산업/시장적 측면에서 기후기술 산업의 특성상 장기간의 투자회수 기간에 따른 사업위험 부담 및 경제성 확보, 사회적 수용성 측면의 장애요인이 존재함
- 정책적 측면에서 융·복합 활성화를 위한 범부처 차원의 협업이 어렵고 기후기술 사업 간의 연계성 부족 및 공공/민간 금융과의 연계 미흡 등의 장애요인이 존재함
- 신기후체제 도래에 따른 기후기술의 글로벌 확산을 위해 특히 개도국 현지 맞춤형 융·복합 기후기술 모델 발굴 및 최적화를 위한 지원체계 수립 등의 노력이 요구됨





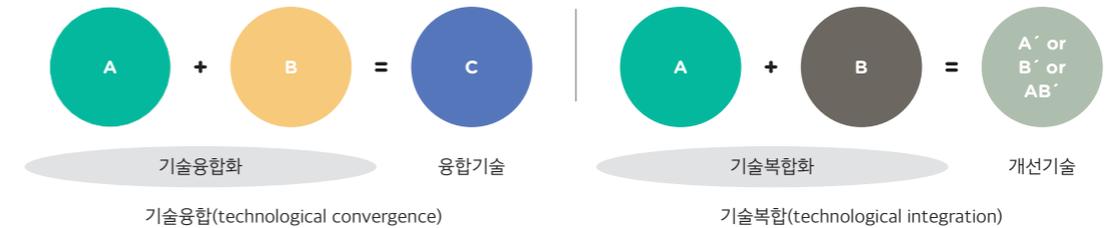
기후변화와 신기후체제

- 2015년 12월에 체결된 파리협정을 통해 2°C 이상 지구 온도 상승을 방지하기 위해 전세계의 온실가스 배출량을 줄이기 위해 노력하기로 합의
 - 개도국의 온실가스 감축 체제 동참을 위해 재정 지원과 함께 '기후기술 개발 및 이전과 관련하여 선진국에게 개도국 지원'에 대한 의무조항 열거를 통해 국가 간 기술협력을 강조
 - 이에 따라 향후 선진국의 기술을 개발도상국에 이전하는 형태의 협력이 활성화할 것으로 전망
- 기후변화로 인해 다양한 사회·경제적인 문제가 복잡한 양상으로 나타나고 있어 이에 대응하는 솔루션 역시 통합적인 관점에서 고려될 필요가 있음
 - 예를 들면, 기후변화로 인해 사막화가 진행된 지역에서 물과 식량이 부족하고 원거리에서 이를 조달할 에너지 또한 부족한 경우
 - 최근 사물인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 빅데이터(Big Data), 머신러닝(Machine Learning), 인공지능(Artificial Intelligence) 등 ICT 기반 기술의 발전에 따라 기후기술과의 융·복합화 추세 가속화 전망 (김형주 외, 2018a)
- 기후기술은 공공성이 강한 기술 분야로 상대적으로 취약한 경제성을 보완하여 환경적, 사회적 측면의 지속가능성을 추구하는 정책 측면에서 지원체계를 필요로 함
 - 기후기술과 관련된 연구개발투자는 매년 늘어나고 있으나, 국내 지원 방향은 단위기술 연구개발에 치중
 - 기후 관련 새로운 비즈니스 모델 창출, 실증 및 (해외) 현지 환경을 고려한 사업화 지원 강화 필요

기후기술 융·복합의 개념

- 기술 융합은 초기의 기술적 문제를 해결함과 동시에 새로운 기술을 다른 분야에 적용하는 개념
- 기술융합과 기술복합은 비슷하나 의미적으로 차이가 존재함
 - 기술융합은 기술 간 화학적 결합을 통해 개별 요소기술들의 특성이 상실되면서 전혀 새로운 특성을 갖는 기술이 창출되는 현상을 의미
 - 기술복합은 요소기술들의 물리적 결합으로 기존 산업 및 기술부문에서의 문제점을 개선해나가는 과정에서 일어나는 기술혁신 방식을 의미 (하태정 외, 2007; 황다영 외, 2008)
 - 기술융합은 이종 또는 동종 간의 기술과의 결합을 통해 새로운 특성을 지닌 기술의 출현을 의미하는 반면, 기술복합은 이종 또는 동종간의 기술이 결합하여 요소기술의 고유특성이 사라지지 않는 특성을 지닌 개량기술 출현으로 재해석할 수 있음

[그림 1] 기술융합과 기술복합의 개념



※ 출처: 김형주 외 (2018a)

- 기후기술 융·복합은 기존의 감축 및 적응 기술뿐만 아니라 타 기술과 지속가능성 강화 측면의 기술별 맞춤형 정책, 제도, 자원, 역량강화를 포함하는 넓은 범위로 정의할 수 있음



<표 1> 기후기술 융·복합 정의

▶ 온실가스 감축 및 적응 관련하여 기존 기술 및 제품의 성능을 개선시키는데 필요한 기술 그 자체뿐만 아니라, 기후기술이 새로운 기술과의 융합을 통해 신산업 및 서비스를 창출하고 신기후체제에 대응할 수 있는 모든 기술을 의미 (김형주 외, 2018a)

● 기후기술 융·복합은 크게 네 가지 형태로 일어날 수 있음

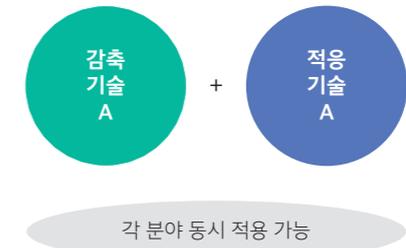
- 감축기술 간의 융·복합은 개별 감축기술의 한계를 극복하기 위해 신재생에너지 저장시스템 등으로 둘 이상의 단위기술이 융·복합한 형태임
- 감축기술과 적응기술 간에도 스마트워터그리드 등 감축 및 적응 각 분야에 동시 적용이 가능한 융·복합 형태가 존재함
- 감축/적응 영역의 기후기술과 타 분야 기술 간에도 개별 기후기술의 단점을 보완할 수 있는 빅데이터 기반 기상 변화 분석 등 융·복합 형태가 존재함
- 마지막으로 폐자원 에너지화 기술기반 공공-민간협력 모델 등 기후기술과 사회과학 분야의 접목이 일어나는 융·복합이 존재함

[그림 2] 기후기술 융·복합 유형

예) 신재생에너지 저장시스템



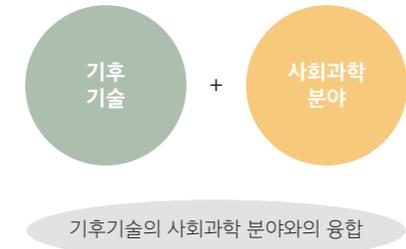
예) 스마트워터그리드



예) 빅데이터를 이용한 변화 분석



예) 폐자원 에너지화 기술기반 공공민간협력(PPP) 모델



※ 출처: 김형주 외 (2018a)



국내 전문가를 대상으로 한 인터뷰 및 문헌 분석을 통해 기후변화 대응을 위한 기후기술 융·복합과 관련한 기술/산업/정책적 측면의 현안 및 장애요인을 분석함

기술적 측면 장애요인

- **국내 연구 기관의 기후기술 개발은 감축, 그 중에서도 에너지 기술에 치중된 경향이 있고 특히 적용 분야의 기술 개발 수준은 극히 미흡함**
 - 국내의 경우 일부 감축기술(태양광, ESS 등)을 제외하고는 선진국 대비 관련 기술 기반 및 역량이 다소 미흡한 실정 (김형주 외, 2018a)
 - 연구계 보유기술은 대다수가 TRL이 상대적으로 낮아 Lab 스케일에서 실증, 현지 커스터마이징 등을 거쳐야 하는 기술들이 대다수임
- **국내 기술은 단위요소기술의 개발에 치우쳐 있고, 수요에 대응한 기술의 통합 솔루션 개발차원의 연구는 상대적으로 소홀한 상황**
 - 기후기술 사업은 특성상 단위요소기술보다는 여러 기술의 통합 설계 및 엔지니어링 역량 등이 필요하나 이에 대한 기반이 취약
 - 기후기술 융·복합 모델 발굴 및 구현을 담아내는 프로그램이 부족하고 연구자들 간 소통체계가 미흡함

산업/시장적 측면 장애요인

- **기후기술 사업은 대부분 전력, 수자원 등 국가 산업시스템 및 제도에 영향을 많이 받는 요소들과 밀접한 연관을 맺고 있어 종합적인 고려 필요**
 - 기후기술 산업의 사회 인프라적 성격으로 인해 초기 사업투자비용이 높고 비용 회수기간이 길어 위험 부담이 큼
 - 전반적으로 기후변화 적응 영역에 대한 산업기반이 취약하고 관련 평가 방법론 및 데이터 확보체계가 미흡함
- **기후기술 산업은 입찰-수주사업 형태로 진행되는 경우가 많아 기술력, 실적 높은 기관에 실적 쏠림 현상이 발생할 가능성이 큼**
 - 특히 중소·중견기업이 보유한 기술의 해외실적이 없는 경우 진출에 어려움을 겪을 가능성이 크고, 기술이외의 입찰, 수주관련 노하우도 단시일에 축적이 어려움
 - 해외 시장에서는 높은 기술력을 보유한 선진국과 가격 경쟁력이 우수한 기술 후발국 사이에서 어려움을 겪고 있음

정책적 측면 장애요인

- **기후기술 융·복합 활성화를 위해서는 부처나 기관 간의 관할영역을 뛰어넘는 범부처 차원의 추진전략 및 지원체계 필요**
 - 사업의 중복을 방지하면서도 부처-기관간의 협업 및 시너지를 도모하는 관리체계 필요
 - 유망기술의 마케팅부터, 사업의 발굴, 기획, 본사업, 유지/보수에 이르기까지 기후기술 사업을 전주기적으로 관리하는 체계의 구축이 필요함 (김형주 외, 2018a)
- **온실가스 감축 및 국제사회 공헌, 국내 산업 육성 등의 목적에 따라 해당 성격에 맞는 우선 적용 기술의 종류, 특성이 달라져야 하나 관련한 전략의 부재**
 - 온실가스 감축 목적을 위해서는 투자대비 감축 잠재량 분석 및 MRV 검증, 배출권 확보 관련 전문가 그룹의 기획단계 참여 필요하나 관련 활동 미흡
 - 국제사회 공헌 측면에서는 온실가스 감축 뿐만 아니라 지속가능 발전의 측면에서 기후변화 적응, 빈곤종식, 건강 등의 목표 전반을 고려해야하나 관련 활동 미흡
 - 국내 산업 육성 측면에서는 관련 부처 산업육성정책 고려 및 일자리 창출, 해외시장 성장성을 종합적으로 고려한 기술의 선정 및 육성 전략 필요
- **TRL이 낮은 Lab 스케일 기술과 상업화 가능 기술이 기술 수준별 맞춤형 지원이 되어야 하나 혼재된 적용으로 인해 성과창출에 한계**
 - Lab 스케일 기술은 상업화 도달시기까지 지속적 지원이 요구되나 실증 등 해당단계 지원 프로그램 부족
 - 상업화 가능기술은 수요에 대응한 융·복합 솔루션의 현지 커스터마이징 관련 지원이 요구되나 해당단계 지원 프로그램 부족

<표 2> 기후기술 융·복합을 저해하는 장애요인

구분	주요 이슈
기술적 측면	- 몇몇 감축기술 이외의 특히 적용기술 기반 및 역량 미흡 - 기술 현지화, 커스터마이징 및 실증 연구 지원 미흡 - 요소기술 중심의 연구개발 치중, 시스템 통합 설계 및 엔지니어링 역량 미흡 - 관련 프로그램 부족 및 전문가 간 소통체계 미흡
산업/시장적 측면	- 전력, 수자원 등 사회기반 인프라 및 관련 산업정책과 높은 상관관계로 이러한 인프라의 취약성이 장애요인으로 작용 - 막대한 초기투자비용 및 긴 비용회수 기간을 가진 산업 - 적응영역에 대한 산업기반, 관련 방법론 및 데이터 확보체계가 취약 - 입찰-수주사업 형태로 기술력, 경험 높은 기관에 실적 쏠림 현상 - 중소·중견기업의 해외진출, 입찰, 수주 관련 노하우 축적의 어려움
정책적 측면	- 범부처 차원의 추진 전략 및 지원 체계 미흡 - 전주기 사업관리 및 지원 체계 부족 - 국제사회 공헌, 국내 산업 육성 및 온실가스 감축 등을 종합적으로 고려한 접근 필요 - 낮은 TRL 기술과 상업화 가능 기술의 수준별 맞춤형 지원 미비

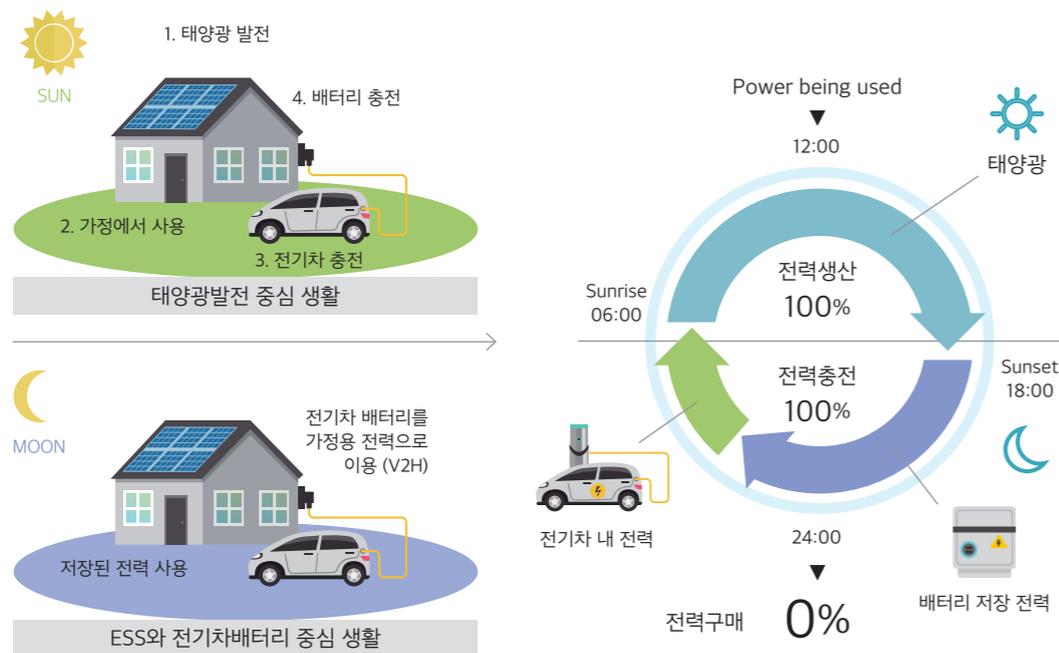


최근 해외에서의 혁신적인 기후기술 융·복합의 성공사례들이 보고되고 있으며, 국내에도 여러 장애요인에도 불구하고 기후기술 융·복합 사례들이 개발되어 시장진출을 시도 중으로 본 고를 통해 몇 가지 사례들을 리뷰하고 시사점을 도출하고자 함

IoT 및 빅데이터를 활용한 에너지 프로슈머

- 분산형 전원에 대한 에너지 기술 발달과 인식 확산 등으로 인해 에너지 프로슈머 개념이 떠오르고 있음
 - 지금까지의 전력 소비자로 일방적으로 전력을 사용만 하던 이용자들이 소규모 전력 생산의 주체가 되어 공급 능력을 지니는 전력의 양방향 거래 개념이 등장함
- 일본의 에너지 프로슈머 비즈니스 모델 사례

[그림 3] Sekisui house의 제로에너지하우스(ZEH) 주택의 개념



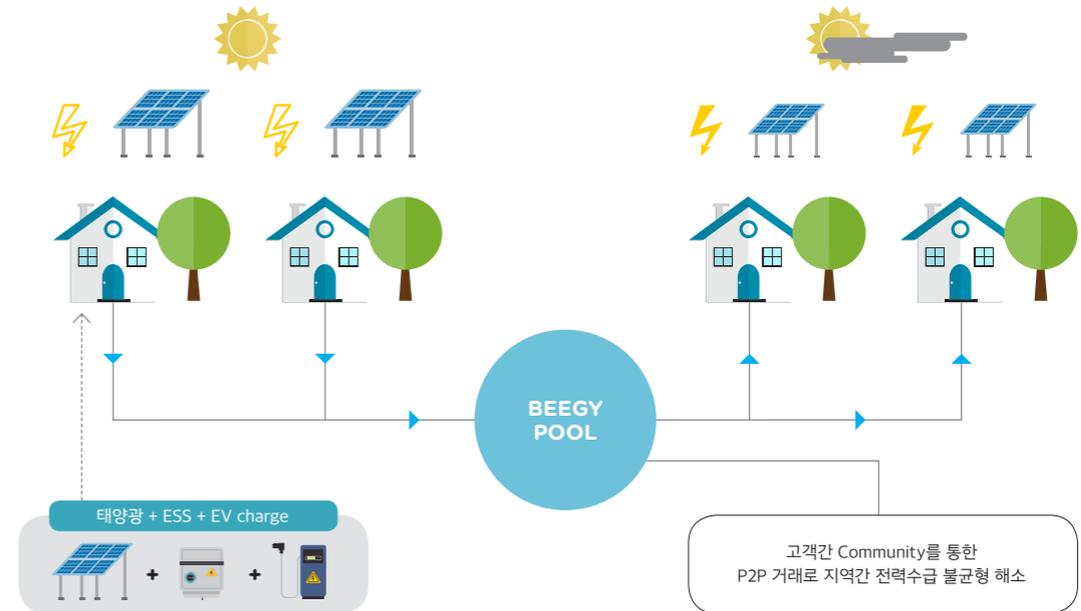
※ 출처: Sekisui Chemical Co., LTD. [웹사이트]를 토대로 저자진 재구성

- 주택 건설 업체인 Sekisui House의 제로에너지하우스는 주택에서 태양광을 이용해 전력을 자체적으로 생산하고, ESS를 통해 잉여 전력을 저장했다가 야간에 사용함
- 이에 더하여 츠쿠바시에 분양한 주택 20채를 대상으로 커뮤니티 분산전원 연계 및 통합 제어 시스템을 구축하여 실증사업을 진행 중

● 독일의 에너지 프로슈머 비즈니스 모델 사례

- 지역밀착형 에너지기업인 MVV energie는 'BEEGY Pool'사업을 통해 독일 만하임 지역에서 고객들이 직접 전기를 사고 파는 커뮤니티를 조성함
- 각 세대에서 태양광 발전을 통해 전력을 생산 후 남은 전력을 BEEGY의 외부 ESS에 저장하고, 필요한 세대에 이를 공급하는 P2P 거래 방식을 도입함

[그림 4] BEEGY의 비즈니스 모델

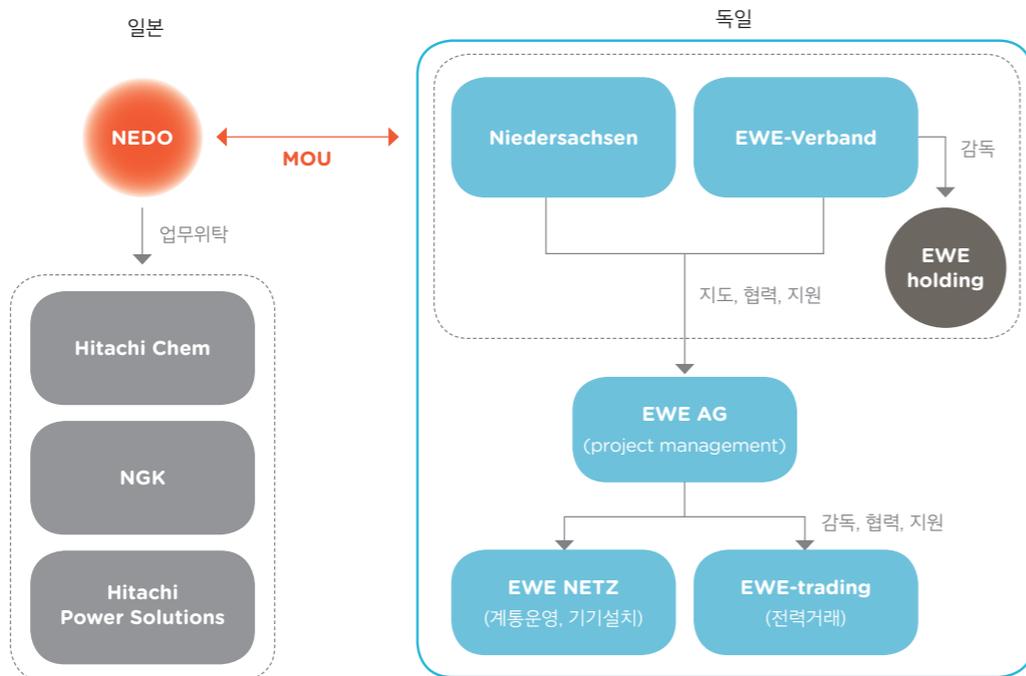


※ 출처: 김신아 (2017)



- 독일 Niedersachsen주에서는 일본 신에너지 산업기술 종합개발기구(NEDO)와의 협정을 통해 ESS를 태양광 발전 시스템과 연계하여 전력 공급 안정화 실증사업을 실시하고 있음

[그림 5] NEDO-Niedersachsen주 ESS 실증사업 개요



※ 출처: 김신아 (2017)

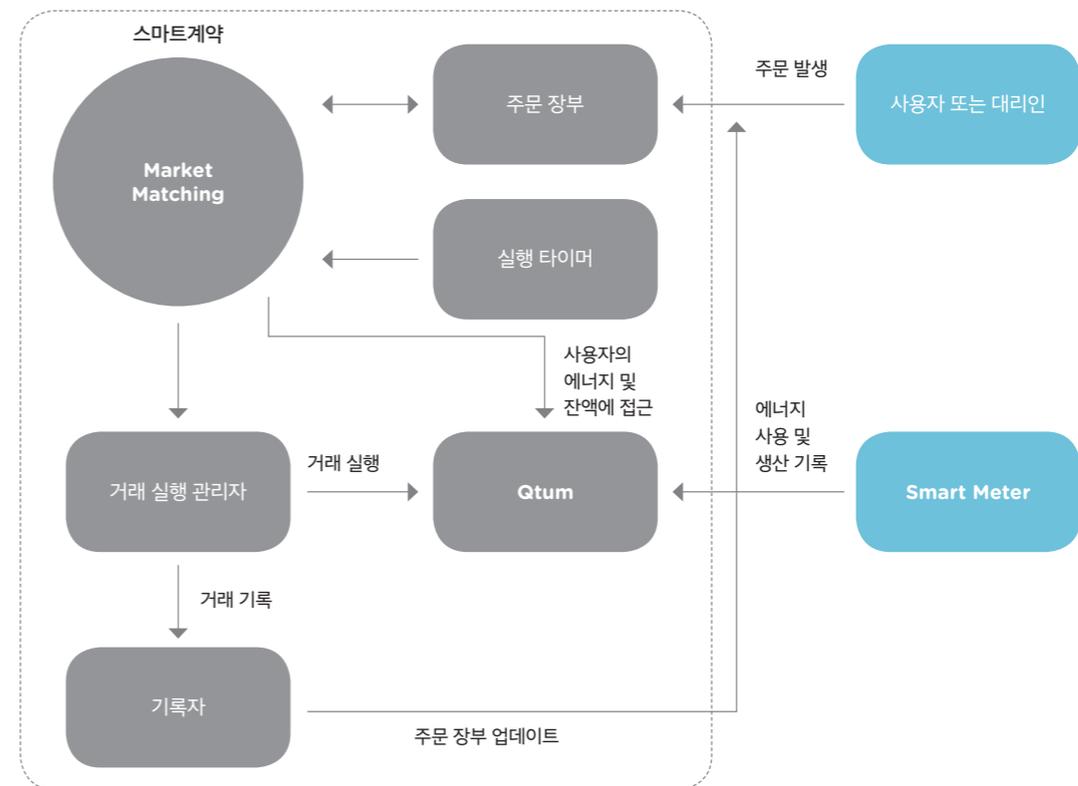
에너지 블록체인 활용 전력거래 모델

- 4차 산업혁명의 핵심 기술 중 하나인 블록체인은 분산원장 기술을 이용해 네트워크 참여자들이 공동으로 정보 및 가치를 검증하는 시스템으로 여러 분야에서 큰 잠재력을 지니고 있는 것으로 평가받고 있음
 - 에너지 분야에 블록체인을 접목할 경우 전력거래소 없이도 누구나 에너지를 생산, 판매 및 소비할 수 있을 것으로 전망함
 - 신재생에너지 전자화폐 등 다양한 응용 분야가 탄생할 것으로 주목받고 있음

● 블록체인을 활용한 P2P 전력거래

- 미국 브루클린 지역에서는 50가구의 주민들이 공동으로 태양광 패널을 설치하고, 스마트 미터기를 통해 블록에 실시간 전력 생산 및 거래 현황을 저장 후 스마트 계약을 통해 자동으로 이웃 간 전력거래가 이루어지는 Brooklyn Microgrid Project를 실시 중
- 중국의 Energo는 에너지 블록체인 분산 애플리케이션을 개발하고 이를 통해 에너지 생산자와 소비자가 실시간으로 전력 거래를 하는 플랫폼으로 구성되어 있음

[그림 6] Energo P2P 에너지 거래 소프트웨어 실행 원리

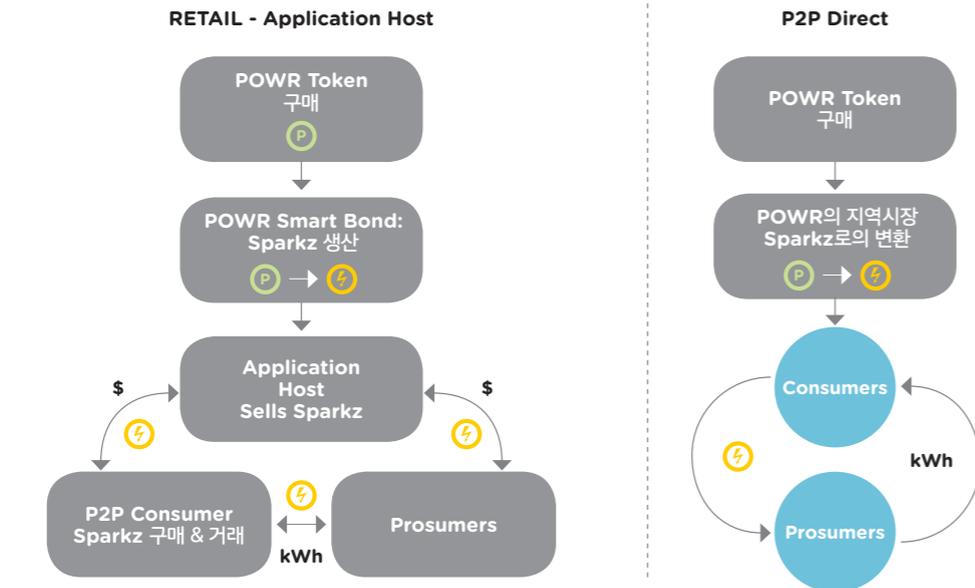


※ 출처: Energo Labs (2017)

- 비슷한 예로 호주의 Power Ledger는 토큰을 발행하고, 소비자들이 Application Host를 통해 전력을 거래하고 수익을 분배받음 (우청원, 2018)



[그림 7] Power Ledger P2P 거래방법



※ 출처: Power Ledger (2018)

● 전기차 충전 모델

- 암호화폐 이더리움(Ethereum)을 기반으로 전기차 인증, 충전, 결제를 자동화한 블록체인 기반 전기차 충전 시스템이 Slock.it와 독일 에너지 발전사인 RWE의 합작으로 개발됨 (우청원, 2018)

[그림 8] 이더리움을 기반으로 한 전기차 충전 원리



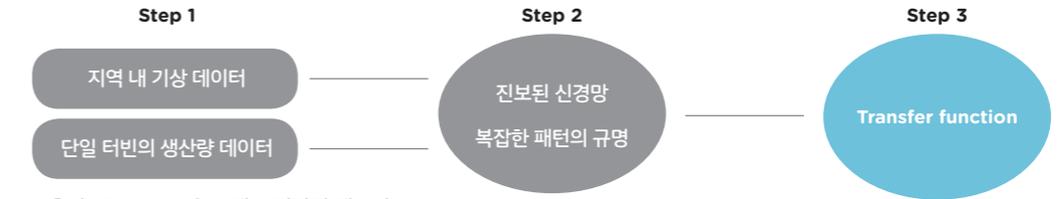
※ 출처: 한전경제경영연구원 (2017)

IoT 및 빅데이터 활용 스마트그리드 사업모델

● 빅데이터 활용 재생에너지 입지 선정

- 덴마크 풍력 터빈 제조업체인 Vestas 사는 빅데이터 기반 모델링을 통해 풍력발전 부지 선정에 드는 시간과 비용을 절감함

[그림 9] 베스타스의 데이터 분석과정



※ 출처: IBM (2011)을 토대로 저자진 재구성

● 스마트에너지 사업모델

- 독일 'E-Energy' 프로젝트는 스마트에너지 실증을 위한 사업들을 추진하는 프로젝트로, 대표적으로 E-DeMa와 eTelligence 사업이 있음 (김창훈, 2015)
- E-DeMa 사업은 700여 가구의 일반가정을 대상으로 초소형 열병합발전설비를 연계한 분산형 네트워크 에너지시스템임
- eTelligence는 냉동 창고와 풍력발전, 태양광발전, 열병합발전 및 온천, 하수처리장 등의 설비를 연계한 가상발전소 개념을 도입한 실증 모델임

시사점

● 현재까지의 기후기술 융·복합 사례는 에너지, 그 중에서도 전력 부문에 치우친 경향이 있음

- 최근 4차 산업혁명 기술의 파급력에 대한 사회적인 관심으로 인해, AI, 블록체인 등 의 기술의 에너지 산업에의 접목이 활발하게 일어나고 있음
- 아울러 지역 커뮤니티가 주도적으로 참여하여 신재생에너지 및 에너지 효율화 측면에서 ICT 기술 및 자원 연계 모델 융·복합한 사례들이 개발, 적용되고 있음

● 신기후체제의 대두로 인한 기후변화적응 영역에 대한 니즈는 증가하고 있으나 관련 기술 융·복합 사례가 부족한 실정

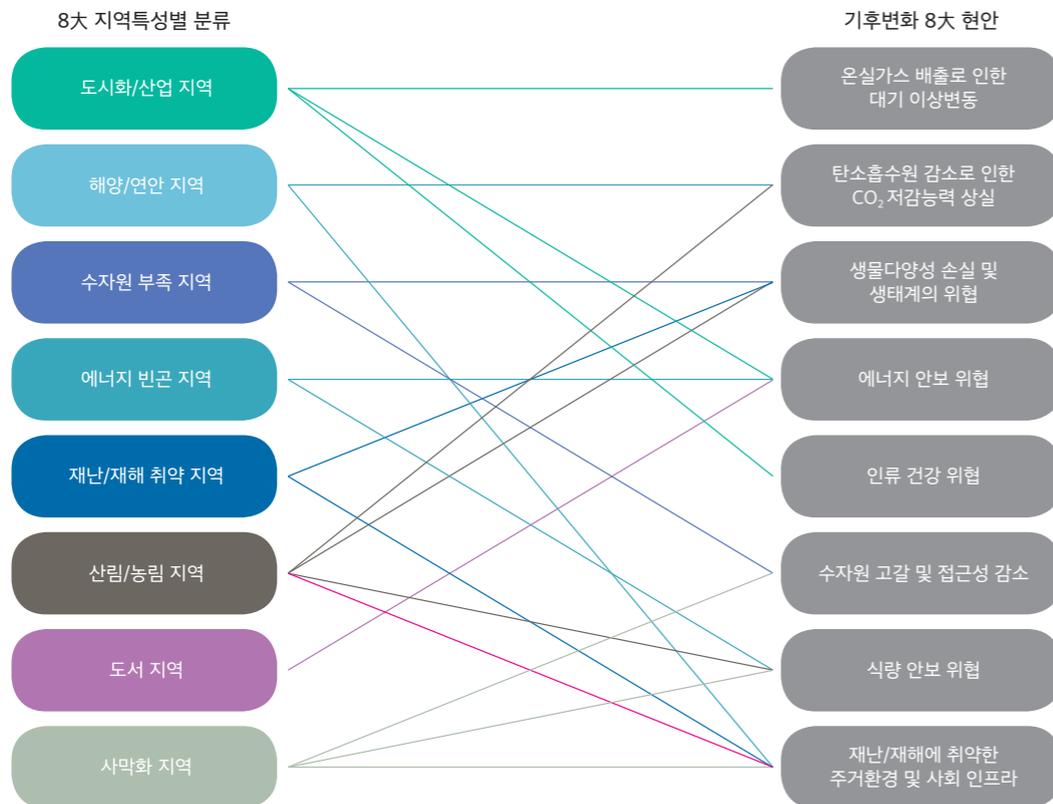
- 적응 영역은 공공 주도 성격이 뚜렷하여 기술뿐 아니라 정책, 제도, 자원 등의 영역과의 융·복합이 더 큰 시너지를 낼 수 있는 영역
- 스마트 팜, 스마트 재난관리 등과 같은 4차 산업혁명 기술과 기후기술의 융·복합이 지속적으로 시도 될 것으로 보임



기후기술 융·복합 사례를 통한 시사점을 참고하여 기술, 산업, 정책적인 측면의 여러 장애요인들을 극복하여 기후기술 융·복합 모델의 발굴, 사업화, 확산을 활성화하기 위한 방안을 제언함

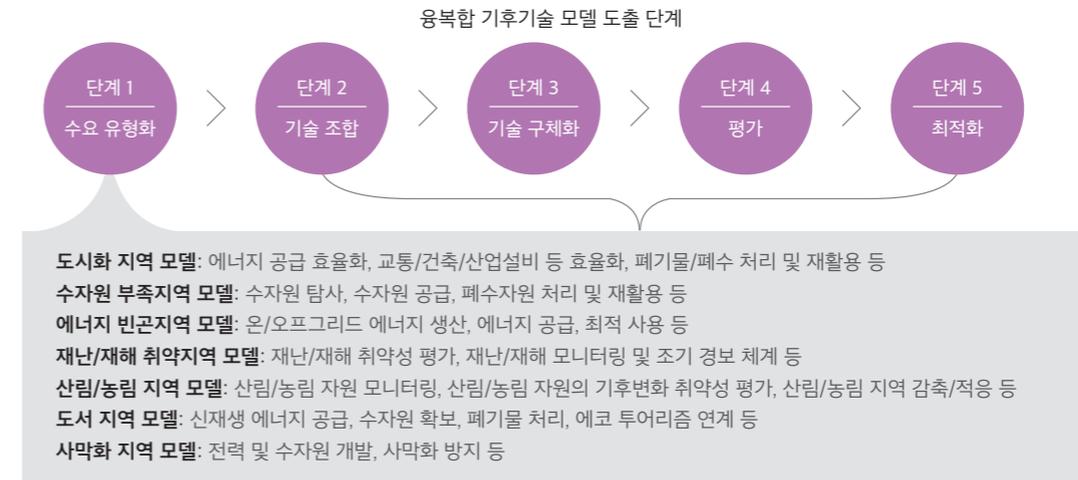
- **제언1 (전략): 융·복합 기후기술 모델의 글로벌 확산을 위한 장단기 사업 전략 수립**
 - 온실가스 감축 및 국제사회 공헌, 국내 산업 육성 등의 목적에 따라 유망한 기술을 분류하고, 기술의 종류, 특성에 따라 시너지 창출 관점의 방향성/전략 수립
 - UNFCCC 기술수요평가(Technology Needs Assessment, TNA) 등 현지화 대상 기술 목록 도출 및 기후변화 대응을 위한 글로벌 단위의 장단기 기술 수요를 분석
 - 수요에 대응한 기후변화 대응을 위한 니즈를 유형화 및 장단기 기술 융·복합 전략 수립

[그림 10] 기후변화 발생 지역 특성별 분류 및 사회 현안과의 연계도



- **제언2 (기술 개발): 기술성숙도 (TRL)별 구분된 맞춤형 융·복합 기후기술 모델의 발굴 및 지원 프로그램 수립 (사업화 가능 기술)**
 - 유망한 기술패키징 조합을 발굴하고, 기후기술별 세부 사양을 설계하고, 기술 모델의 기술 경제성, 환경성, 사회적 수용성을 종합적으로 분석, 개선
 - 현지화 R&D, 커스터마이징을 통한 기술 모델의 최적화
 - 기술전문가 뿐만 아니라, 경제성 분석, 환경사회 영향평가, MRV 검증, 배출권 확보 관련 전문가 그룹의 기획단계 참여 유도
- (Lab 스케일 기술)
 - 미래의 니즈로부터 도출된 사업기획을 도출하고 기술 요구사항 정의
 - 요구사항에 부합하는 기술의 발굴 및 사업 가능성을 높이기 위한 추가 R&D
 - 기술의 통합 및 실증 연구를 통한 기술 모델의 최적화

[그림 11] 융·복합 기후기술 모델 도출 단계 (안)



<표 3> 기후기술 기술사업화 주기별 주요 고려사항

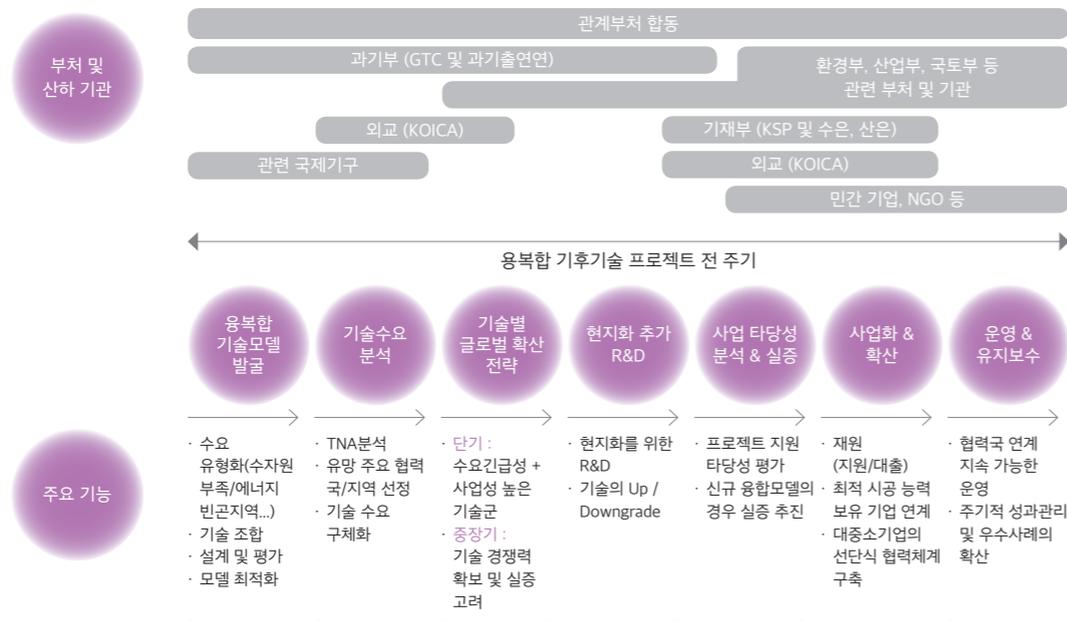
구분	주요 고려사항
수요발굴 측면	현지의 경제, 시장, 기술수용성, 정책, 인적역량 등의 요소들이 융·복합 기술을 적용하기에 적절한 환경인지의 여부
추가 R&D 측면	현지의 환경을 고려시, 추가 R&D 또는 현지화 R&D가 필요한지의 여부
실증연구 측면	현지 환경 하에서 검증이 이루어지지 않은 융·복합 기술에 대해 실증 과제의 추진이 필요한지의 여부
사업화/확산 측면	융·복합 기술의 사업화 또는 확산을 추진하는 경우 정책, 제도, 역량강화, 사업성 평가 관련 지원 필요 여부



● 제언 3: 기후기술 융·복합 확산을 위한 지원체계 수립

- 기술지원, 역량강화 등은 공공/연구기관이 주도하고, 본사업은 통합 설계 및 엔지니어링, 프로젝트 관리 역량 등을 보유한 민간기업이 주도
- 기술력은 있으나 실적 및 경험이 부족한 중소, 중견기업의 해외 진출을 위해 대·중·소 기업의 컨소시엄 형태의 프로젝트 장려
- 온실가스 감축 및 국제사회 공헌, 국내 산업 육성 등의 목적에 따른 프로젝트의 마케팅부터, 사업의 발굴, 기획, 본사업, 운영까지 전주기적 관리 체계의 구축이 필요
- 에너지 등 감축 기술 및 적응기술을 함께 고려한 프로젝트 개발을 장려하고, 국내외적으로 적응관련 데이터가 많이 부족한 바 이를 위한 데이터 확보체계 마련

[그림 12] 기후기술 융·복합 기반 프로젝트 확산 체계 (안)



<참고문헌>

- 김신아(2017), 「주요국의 에너지 프로슈머 관련 정책 동향 및 비즈니스 모델 분석」, 『에너지포커스』, 에너지경제연구원, 2017 여름호
- 김창훈(2015), 「독일의 에너지수요관리 정책 연구」, 에너지경제연구원
- 김형주 외(2018a), 「기후변화 대응을 위한 과학기술 융복합 활성화 방안」, 녹색기술센터, 국가과학기술자문회의 정책연구 2017-26
- 우청원(2018), 「에너지 블록체인 도입방안 연구」, 『STEPI Insight』, 2018-222호
- 하태정 외(2007), 「NBIT 컨버전스 연구개발조직의 발전방안 연구」, 과학기술정책연구원, 11(4), p.35.
- 황다영, 김영인, 이병민(2008), 「기술융합 특성에 따른 새로운 분류체계의 제안」, 『기술혁신학회지』, 11(4), pp.592-612.
- KIST 융합연구정책센터(2015), 「융합연구리뷰」, 1(2)
- 한전경제경영연구원(2017), 「KEMRI 전력경제 Review」, 7
- IBM Corporation(2011), 「Vestas, Turning climate into capital with big data」
- Energo Labs(2017), 「Decentralized Autonomous Energy System」
- Power Ledger Pty Ltd(2018), 「Power Ledger White Paper」
- Sekisui Chemical Co., LTD.[웹사이트]. https://www.sekisuichemical.com/about/whatsnew/2016/1299321_26507.html

<관련자료>

- 김형주 외(2018b), 「기후기술 융합모델 발굴, 확산 방안 마련 및 4차산업혁명 연계 방안 연구」, 녹색기술센터

