

2022년 3월호

글로벌 에너지 동향 이슈 보고서

글로벌 에너지 산업 및 정책의 주요 화두로 떠오르는 주제를 선정하여
매월 동향 이슈 보고서를 제공합니다

재생에너지 잉여전력 해결을 위한 부문 간 연계,
섹터커플링

〈 목 차 〉

I. 섹터커플링의 이해	3
II. 섹터커플링 기술	6
III. 글로벌 섹터커플링 동향	12
IV. 국내 섹터커플링 추진 현황	20
V. 섹터커플링 관련 주요뉴스	21

Highlight



인류는 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승을 1.5℃까지 제한하자는 공동의 목표로 파리협정을 체결하였다. 파리협정 목표를 달성하기 위해 세계 각국은 2030년까지의 탄소배출 저감계획(NDC)과 2050년경 탄소중립을 달성하기 위한 계획을 수립·추진하고 있다. 탄소중립의 핵심 수단은 태양광이나 풍력 등 재생 가능한 에너지를 전력 계통에 대폭 확대하는 것이다.

기상 상황에 따라 발전량이 결정되는 재생에너지의 특성상 안정적인 계통 운영을 위해서 일부 시간의 초과

발전량 차단이 필요하다. 이러한 차단이 필요한 발전량을 전기차, 열저장, 그린수소 생산 등에 활용하여 전력계통의 유연성을 높이는 섹터커플링 기술이 세계적으로 주목받고 있다. 우리나라도 2021년 12월 발표한 “2050 탄소중립 에너지기술 로드맵”에 전력계통의 유연성을 확보하는 핵심기술인 섹터커플링을 포함하였다. 본 보고서에서는 세계적으로 주목받고 있는 섹터커플링의 이해와 글로벌 동향 등에 대하여 알아보고자 한다.

I. 섹터커플링의 이해

1. 섹터커플링의 개념

- 섹터커플링(Sector Coupling)은 재생에너지 잉여 발전 전력을 다른 형태의 에너지로 변환·저장하여 난방이나 수송 등에 활용하는 것으로, 재생에너지의 변동성*을 완화하고 에너지시스템 전체의 탄소중립을 실현하는 비용 효율적인 방안임

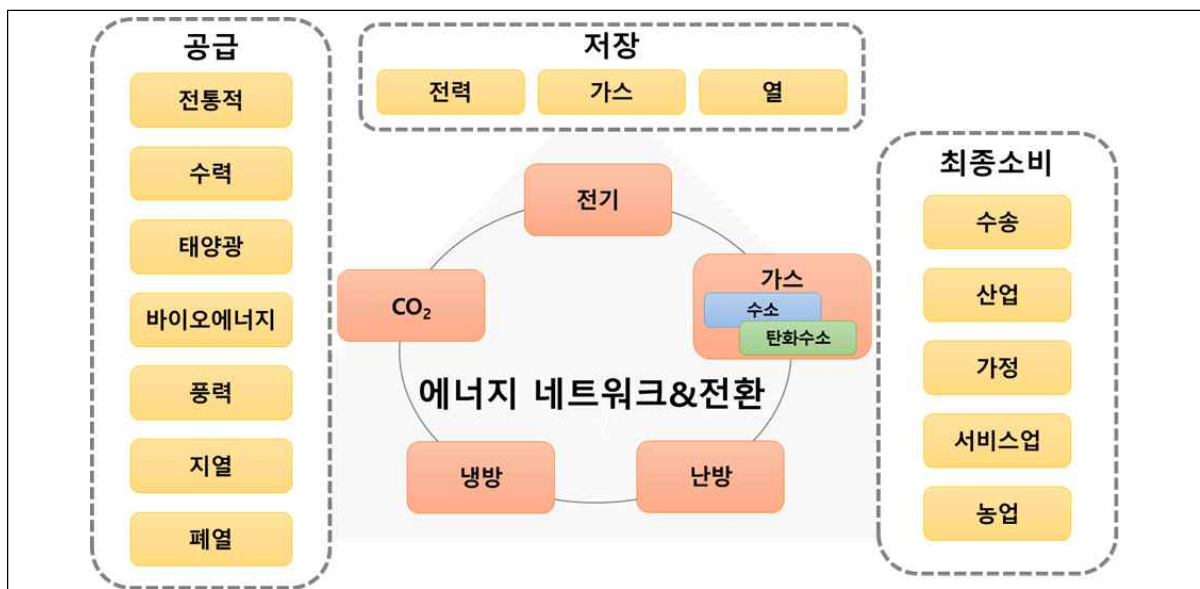
* 재생에너지 발전기는 출력조절이 어렵고, 날씨에 따라 발전 출력의 변화가 심함

- 독일 에너지 전환정책에서 소개된 개념으로 재생에너지 중심의 전력계통에서 냉·난방, 수송 등 최종 소비 부문의 전력화¹⁾를 통해 계통의 유연성 확보와 전력 공급의 균형 유지를 위한 방안으로 제안함
- 최근에는 재생에너지 초과 발전량을 활용한 그린수소 등 에너지 생산 부문과의 결합²⁾까지 포함한 개념으로 확대됨

〈섹터커플링(Sector Coupling) 정의

재생에너지 잉여전력을 수소(H₂)나 열 등 다른 형태의 에너지로 변환하여 저장하였다가 필요시 발전·난방·수송 부문으로 다시 변환하여 사용하는 기술

【 에너지시스템 분야의 커플링 】



※ 자료: VAN NUFFEL et al(2018)

1) End-use sector coupling

2) Cross-vector sector coupling

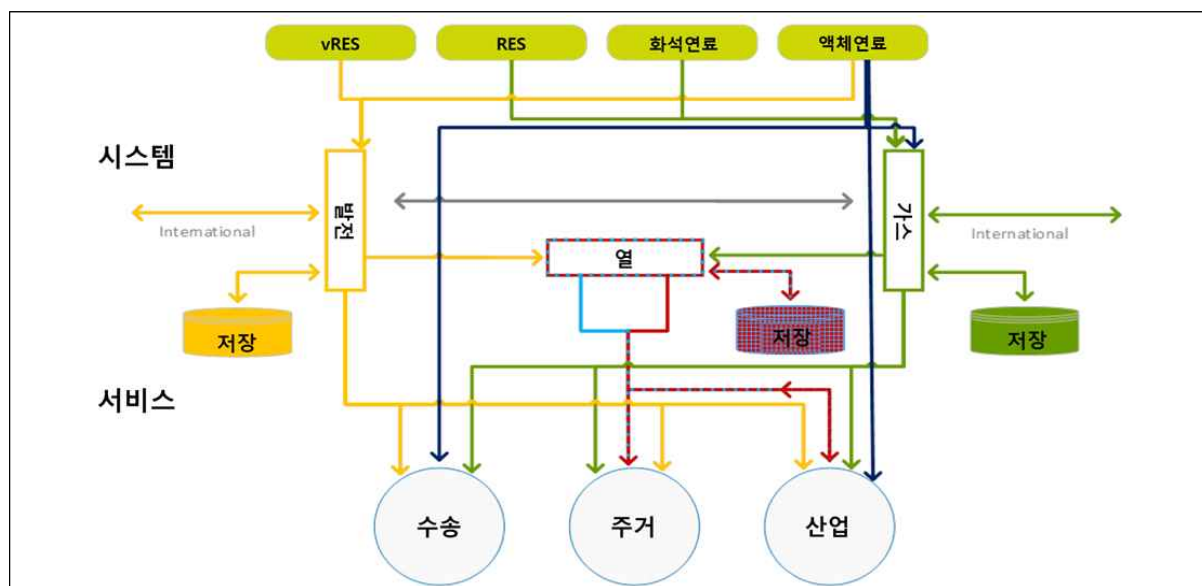
2. 섹터커플링의 도입 배경

- 탄소중립 정책에 따라 태양광, 풍력 등 자연에너지에 의존하는 재생에너지 발전 비중이 증가하면 전력계통에서 전력수요를 초과하는 재생에너지 발전량 차단이 필요함
- 현재는 실시간으로 변화하는 전력수요에 맞춰 석탄이나 가스 등 출력제어가 쉬운 화력발전기의 발전량을 조절하고 있음
- 출력조절이 어려운 재생에너지 보급 확대 시 잉여 발전 전력 차단을 방지하기 위해서는 대규모 배터리 저장장치(ESS)나 양수발전 등 비용이 많이 드는 저장장치 설치가 필요함
- 또한, 재생에너지가 발전할 수 없는 기상 조건이 지속되면 발전량 부족으로 안정적인 전력공급이 어려울 수 있음
- 재생에너지의 잉여전력을 다른 형태의 에너지로 저장 후 필요시 난방이나 수송 등의 부문에 활용하여 에너지시스템 전체의 탄소중립을 실현하는 방안으로 전력과 다른 부문을 연계한 섹터커플링 기술이 도입됨

3. 섹터커플링의 종류

- 섹터커플링은 Power-to-X(P2X)로 나타내는데, 재생에너지 잉여전력을 다른 에너지로 저장하는 방식에 따라 X부문이 정의됨
- 가스와 액화연료로 생산 및 저장하여 타 부문에서 원료로 사용하는 기술인 Power-to-Gas/Liquids (P2G/P2L), 냉난방 전력화 기술인 Power-to-Heat/Cooling (P2H/P2C), 수송부문 전력화 기술 Power-to-Mobility (P2M) 등이 있음

【 P2X의 에너지 흐름 】



※ 자료: ETIP SNET(2020)

4. 섹터커플링의 효과

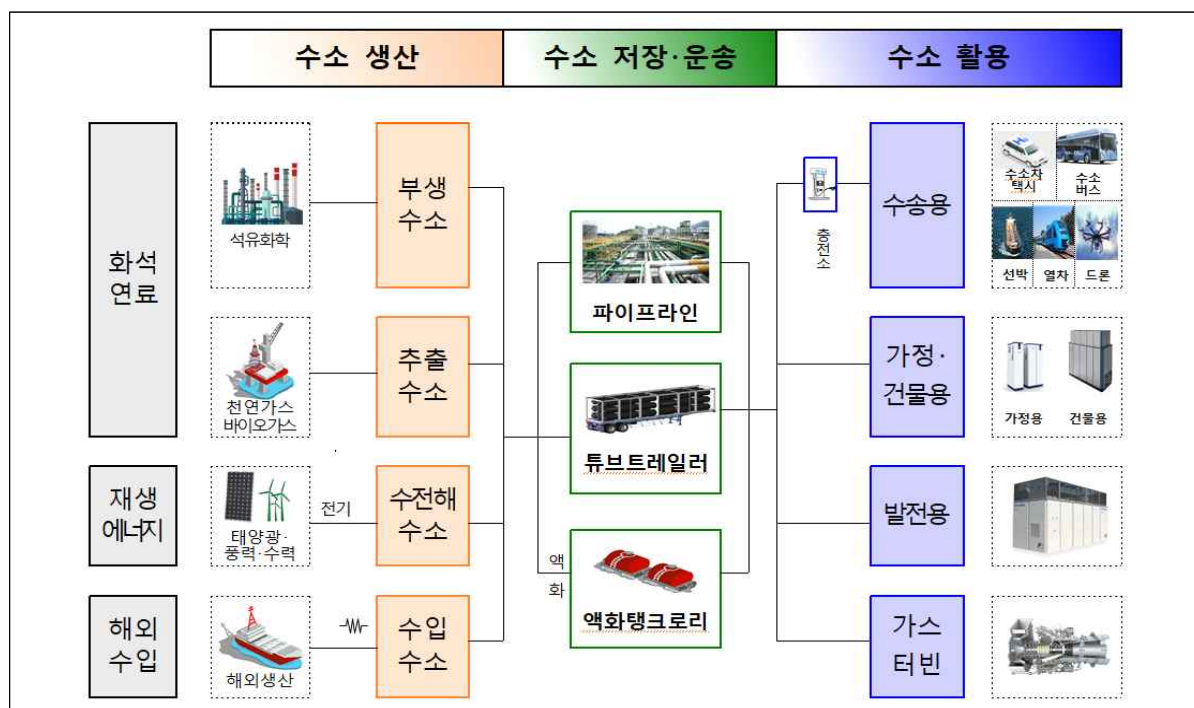
- 전력은 열이나 가스 등 다른 에너지로 전환 후 저장도 용이하므로 전력 부문은 다른 부문의 탄소중립 추진에 중요한 역할을 할 수 있으며, 전력과 타 부문의 통합은 전력 계통의 유연성 제고에 유용함
- 재생에너지 발전량이 많아 전력공급이 수요를 초과하는 시간대에 섹터커플링으로 전력수요를 창출하면 재생에너지 발전량 차단을 줄일 수 있음
- 섹터커플링 기술은 전력계통의 유연성을 높여 재생에너지 활용성을 높일 수 있고, 에너지시스템 전체의 탈탄소화에 도움이 됨
- 저장시설을 갖추면 재생에너지원을 열이나 수소 등 다른 에너지원으로 저장 후 필요시 사용이 가능하며, 이는 에너지의 시간적·계절적 변동성을 해결해 줌

II. 섹터커플링 기술

1. Power-to-Gas/Liquids (P2G)

- P2G는 재생에너지 잉여전력으로 수전해³⁾로 수소(H_2)를 생산하거나 생산된 수소를 이산화탄소(CO_2)와 반응시켜 메탄(CH_4)을 생산하는 기술로 직접 사용하거나 메탄, 합성가스, 전기 또는 화학물질로 변환하여 사용함
- 수소는 우주물질의 75%를 차지할 정도로 풍부하고, 환경 친화적이며, 생산된 가스는 압축이나 액화 후 천연가스 인프라망으로 운송 및 저장할 수 있어 재생 가능한 장주기 에너지 저장의 가장 유용한 기술로 평가됨
- 수소에너지는 전력 생산용 연료전지, 가스터빈 발전기의 연료, 각종 운송 수단용 연료(자동차, 항공기, 선박, 기차 등), 열 생산, 화학이나 철강산업 등 다양한 분야에서 다양한 형태로 이용될 수 있음
 - 가장 활발하게 사용되는 형태는 연료전지(Fuel Cell)로 수소 연료와 산화제를 전기화학적으로 반응시켜 전기 에너지를 생산함

【 수소에너지의 생산방식과 활용 분야 】



※ 자료 : 산업통상자원부

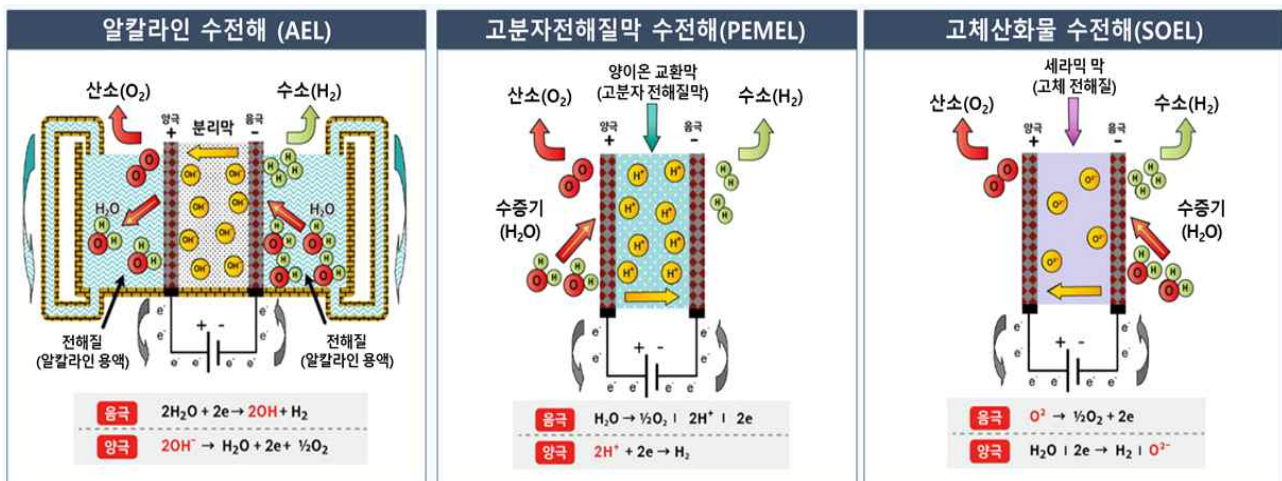
3) 물을 전기분해하여 고순도의 수소를 생산하는 기술

- P2G시스템은 물을 전기 분해하여 수소를 생산하는 전해조(Electrolyser), 메탄화 설비, 수소 및 메탄 저장설비, 전력 및 가스 계통 연계 설비로 구성됨
- 전해조⁴⁾는 전해질의 종류에 따라 알칼라인⁵⁾, 고분자전해질막⁶⁾, 고체산화물⁷⁾ 방식으로 구분함

【 전해조 종류 】

전해조 종류	세부설명
알칼라인 수전해	<ul style="list-style-type: none"> 기술적으로 성숙한 방식이며 초기 설치비용이 저렴하여 현재 대부분의 수전해에서 사용 효율이 낮고 시동이 오래 걸림
고분자전해질막 수전해	<ul style="list-style-type: none"> 응답속도가 빠르므로 섉터커플링을 통한 재생에너지 출력 변동성에 대응하기 위해서는 PEMEC 전해조가 적합 기술발전과 시장 성장에 따라 비용도 점차 하락할 것으로 예상되어 PEM의 그린수소 생산이 활성화될 전망
고체산화물 수전해	<ul style="list-style-type: none"> 현재 기술 수준에서 효율을 10% 이상 올릴 수 있는 기술 아직 소형 스택을 활용하는 수준의 연구단계로 대규모 상용화된 시스템을 개발하기 위한 추가 연구 필요

【 전해조 종류별 동작 원리 】



※ 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구 재인용(이태의, 에너지경제연구원, 2020)

4) 전기를 분해하는 장치

5) AEC: Alkaline

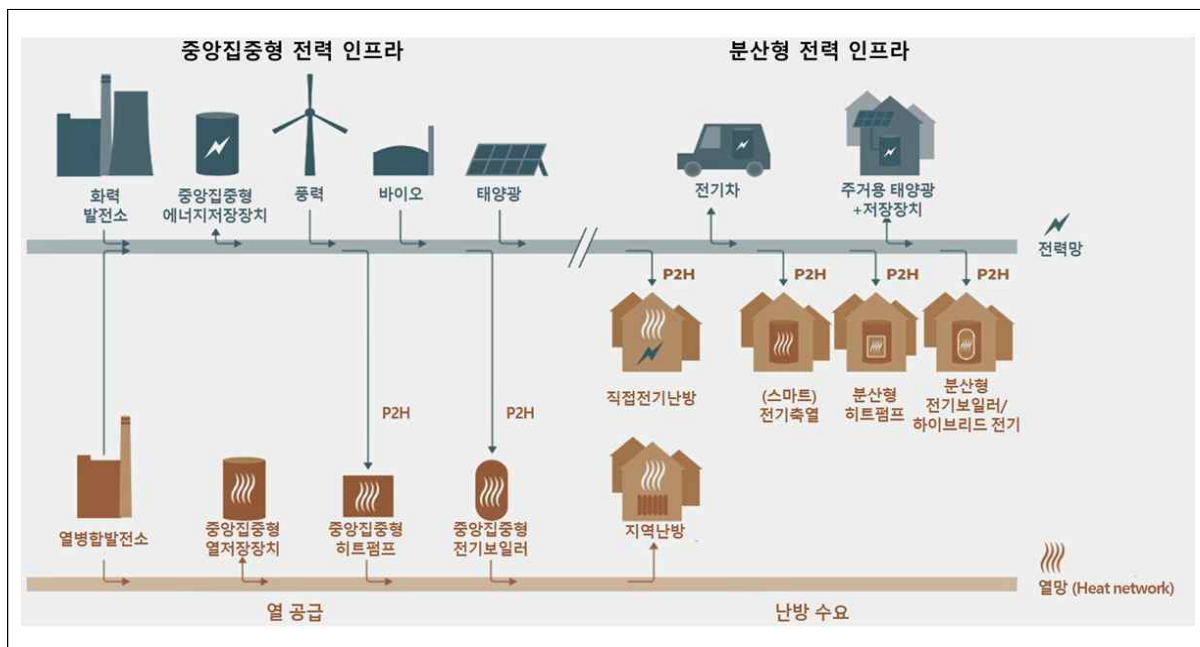
6) PEM: Polymer electrolyte membrane)

7) SOEC: Solid Oxide Electrolysis

2. Power-to-Heat/Cooling (P2H/P2C)

- P2H는 전력과 냉난방 부문을 통합하는 것으로, 히트펌프(Heat Pump) 등을 이용하여 재생에너지 잉여전력을 열로 변환하고 대규모로 저장하여 필요시 사용하는 기술임
- 산업용은 난방은 전 세계 에너지 소비의 약 20%, 건물 난방은 약 15%를 차지하는 등 냉난방은 가장 큰 에너지 소비 부문(Bellevrat & West, 2018)이며, 유럽의 경우 총 에너지 수요 중 51%를 냉난방이 차지함
- 전기보일러 효율은 100%, 화석연료 보일러는 75~95% 효율에 비해 히트펌프는 300~500%이며, 이는 열 3~5kWh를 생성하기 위해 전력 에너지 1kWh가 소모됨을 의미함
- 재생에너지 전력은 히트펌프나 전기보일러를 통하여 열로 변환할 수 있으며, 열 공급은 중앙집중식 또는 분산형으로 구분함
 - 중앙집중식은 열 수요 지점과 멀리 떨어져 있는 곳에서 전기를 열로 변환하고 지역난방 네트워크로 열을 분배하기 때문에 대규모 열 저장시설이 필요함
 - 분산형은 열 수요 지점과 가까운 곳에서 전기를 열로 변환하며, 열이 필요할 때마다 가열하여 사용하거나 소규모 열 저장시설을 갖추고 전력 요금이 저렴할 때 열을 저장함

【 Power-to-Heat 옵션 】



※ 자료: Andreas Bloess et al(2018)

- P2H 기술은 전반적으로 기술성숙도가 높으나, 실질적으로 산업공정에서 사용하기에는 아직 한계가 있음

【 산업 부문 P2H 기술별 비용 분석 】

종류	비용	현황
히트펌프	<ul style="list-style-type: none"> LT/MT: 250~800유로/kW HT/MT: 300~800유로/kW VHT: 900~2,000유로/kW 	<ul style="list-style-type: none"> LT/MT 히트펌프는 식품, 펄프, 제지산업에서도 사용 가능. VHT 히트펌프는 경제·기술적 제약으로 보급이 더딘 상황임
기계식 증기 재압축 처리기술(MVR)	<ul style="list-style-type: none"> 수명 10~15년 기준: 1,500~6,00유로/kWe 	<ul style="list-style-type: none"> 식품, 화학 및 제지산업의 증발기로도 사용 가능
간접 전기난방	<ul style="list-style-type: none"> 전기보일러: 70~150유로/kW 	<ul style="list-style-type: none"> 백업 혹은 피크용 보일러로 사용 가능
직접 전기난방	<ul style="list-style-type: none"> 10~150유로/kW 	
전자기장 (Electromagnetic)	<ul style="list-style-type: none"> 적외선 보일러: 840유로/kW 적외선 건조기: 143유로/kW 전자레인지: 440유로/kW 인덕션 난방: 41유로/kW 	<ul style="list-style-type: none"> 적외선 건조기, 금속용해 및 가열 등의 공정에서 사용

* LT : Low-Temperature, MT : Mid-Temperature, HT : High-Temperature, VHT : Very High-Temperature
 LT/MT < 100°C, 100°C < HT < 150°C, VHT > 150°C

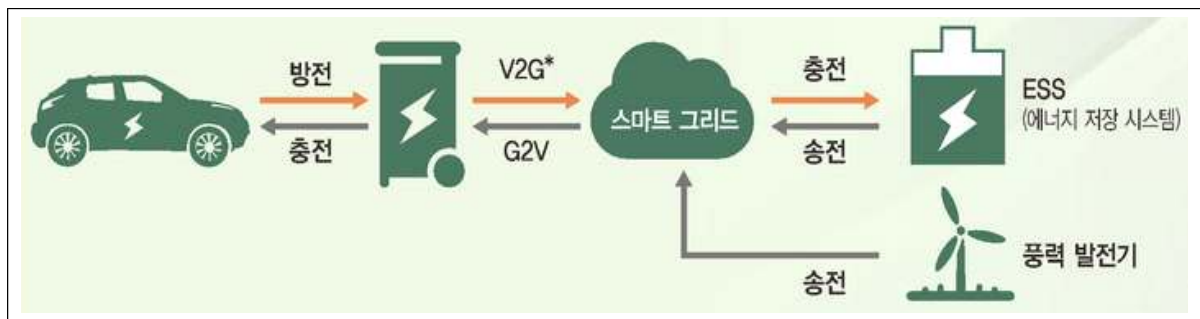
※ 자료: ETIP-SNET(2020)

- 시장조사 기관인 얼라이드 마켓 리서치(Allied Market Research)에 따르면 전 세계 히트펌프 시장 규모는 2018년 552억 달러에서 2026년 약 두 배인 996억 달러로 성장할 것으로 예측함
- 히트펌프는 2050년까지 건물 냉난방 부문에서 2억5천만 대 이상 증가하고, 산업 부문에서는 8천만 대 이상 증가할 것으로 전망됨

3. Power-to-Mobility (P2M)

- P2M은 전력을 배터리에 저장하여 수송 부문에서 활용하는 것으로 배터리가 장착된 전기차가 대표적임
- 리튬이온 배터리 기술 발전과 가격하락에 따라 세계 주요국은 탄소중립 추진의 전략으로 전기차 보급 확대를 추진하고 있음
 - 블룸버그 뉴에너지파이낸스(BNEF) 자료에 따르면 2015년 신규 승용자동차 판매에서 전기차 비중은 0.56%로 낮았으나, 2040년에는 약 57%로 내연기관보다 전기차 판매 비중이 더 높아질 것으로 전망함
 - 시장조사업체 KBV리서치에 따르면 글로벌 시장에서 V2G 기능이 탑재된 전기차 시장은 2019년 1,270억 달러에서 연평균 14%씩 성장해 2025년 4,790억 달러로 증가할 것으로 예상함

【 V2G 개념도 】



- P2M은 전기차에 충전만 하여 운행하는 V1G, 충전하였다가 필요시 전력계통에 방전하는 V2G, 충전된 전력을 건물에 이용하는 V2B로 구분할 수 있음

【 전기차 충전 및 활용의 형태 】

전기차 충전형태	세부설명
V1G	<ul style="list-style-type: none"> 계약된 전력요금 또는 전력시장에서 전력가격이 저렴한 시간대에 전기차를 충전 후 필요시 운행하는 방식 단방향 충전기 필요
V2G (Vehicle-to-grid)	<ul style="list-style-type: none"> 전력망을 통해 전기차를 충전했다가 주행 후 남은 전기를 전력망으로 다시 송전(방전)하고 보상받는 방식으로 움직이는 에너지저장장치(ESS) 역할 수행 충전과 방전을 할 수 있는 전기차 성능이 갖춰져야 하고 양방향 충전장치 필요
V2B (Vehicle-to-building)	<ul style="list-style-type: none"> 전기차 주행 후 남은 전기를 가정이나 사무용 빌딩에서 활용하고 그에 따른 보상을 받는 방식 V2G와 같은 전기차 성능과 양방향 충전장치 필요

- 재생에너지 잉여전력의 차단이 실제로 이루어지고 있는 제주도에서 P2M 효과를 분석해 본 결과 재생에너지 차단량, 1차에너지 소비량, 온실가스 배출량 등에서 효과가 있었음
- 현재의 충전패턴 유지(DumpCharge), 재생에너지 잉여 발전 시간대에 충전(SmartCharge), 재생에너지 잉여 발전 시간대에 충전 후 재생에너지 발전량이 부족할 때 전력공급에 활용(V2G) 등 3가지 시나리오로 분석함
- (재생에너지 차단량) DumpCharge 대비 SmartCharge는 46.2%, V2G는 54.6% 감소
 - (1차에너지 소비량) DumpCharge 대비 SmartCharge는 6.3%, V2G는 9.1% 감소
 - (온실가스 배출량) DumpCharge 대비 SmartCharge는 11.5%, V2G는 16.3% 감소

【 P2M 시나리오별 효과 】

시나리오	제어필요량 (TWh)	1차에너지 소비량 (TWh)	온실가스 배출량 (백만톤)
충전패턴 유지 DumpCharge	1.3	16.91	1.04
스마트 충전 SmartCharge	0.7	15.85	0.92
V2G	0.59	15.37	0.87

※ 자료: 한국기후변화 학회 발표자료(2021)

III. 글로벌 섹터커플링의 동향

1. Power-to-Gas/Liquids (P2G)

- 재생에너지 확대에 따라 전력계통의 유연성을 높이고 탄소중립 실현을 위해 수소 생태계 구축 전략을 마련하고 있으며, 유럽을 중심으로 다양한 P2G 프로젝트가 진행되고 있음
- 독일이 77건으로 가장 많은 프로젝트를 추진하고 덴마크, 영국 스위스 등이 그 뒤를 잇고 있으며, 미국, 캐나다가 유럽 외 지역에서 각각 10건, 6건의 프로젝트를 수행 중임
 - 재생에너지 강국 독일을 중심으로 유럽 국가들은 재생에너지 초과발전량을 이용한 그린수소 생산 프로젝트를 진행함
 - 미국은 바이든 정부 출범 후 파리기후변화협약에 복귀하였으며, 수소경제를 포함한 청정에너지 부문에 과감한 투자 중임
 - 일본은 에너지 안보와 수소기반 에너지 저장 및 사용을 위한 P2G 추진 등 수소 생태계 구축을 위한 기술 개발 및 국제 협력을 강화하고 있음

【 국가별 P2G 프로젝트 현황 】

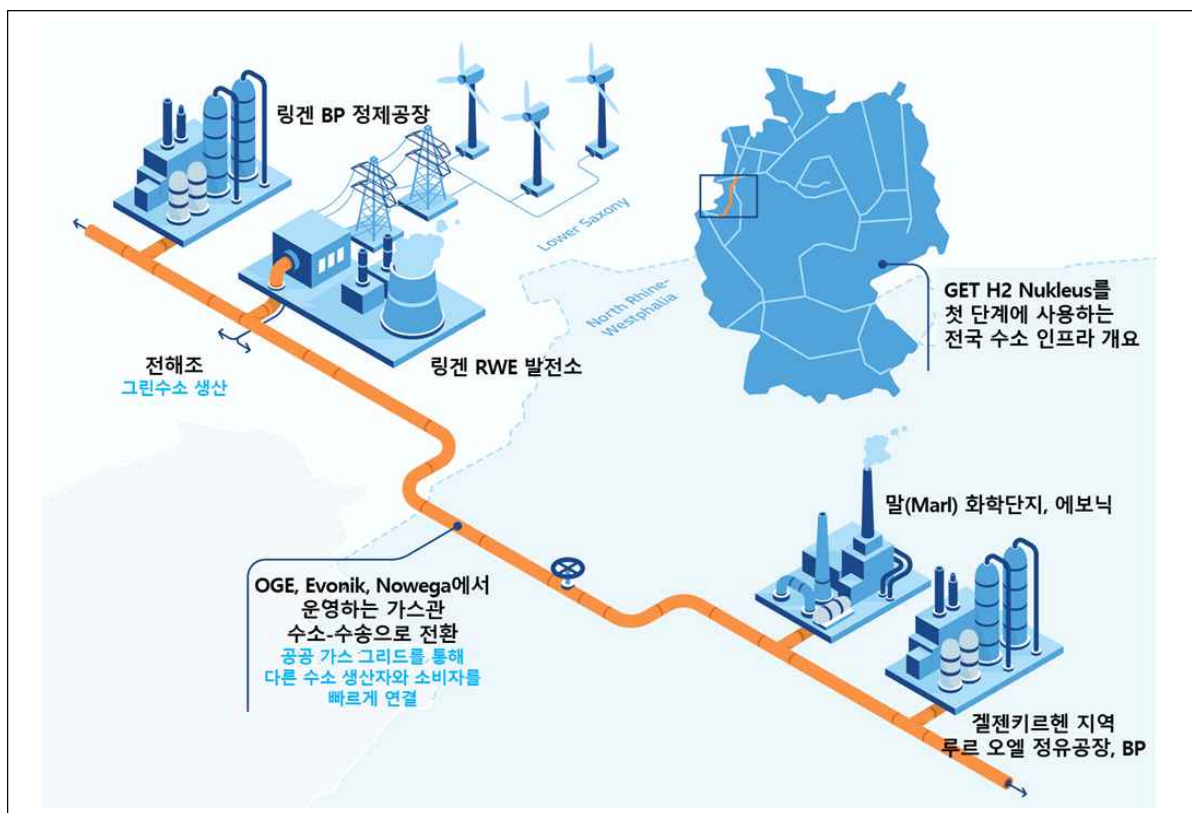


※ 자료: 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구 재인용(이태의, 에너지경제연구원, 2020)

- EU는 알칼라인 수전해와 고분자전해질막 수전해 기술을 이용하여 재생에너지 변동성을 흡수할 수 있는 서비스를 전력계통에 제공하기 위한 표준화된 테스트 프로토콜을 설정하는 ‘QualyGridS 프로젝트’를 추진함

- 50kW에서 300kW까지의 AEL, PEM 전해조와 재생에너지 발전원에 연계 후 개발된 프로토콜로 전력계통에 제공 가능한 서비스 수준을 평가하고, 유럽에 이미 설치된 3MW 이상 대형 전해조는 전력시장 비즈니스 사례에 따른 경제성 평가를 수행함
- QualyGridS 프로젝트 수행으로 재생에너지 전력과 수전해 장치 연계 시 발생하는 여러 문제를 해결하고, 경제성을 확보한 고효율 수전해 설비구축 기반이 마련될 것으로 예상함
- 독일은 재생에너지 초과 발전량으로 그린 수소 생산·운송·저장·활용을 핵심 전략으로 하는 ‘GET H2 Initiative’를 추진 중임
 - 이니셔티브의 비전은 ①재생에너지 발전량으로 그린수소 생산, ②생산된 수소는 기존의 가스 인프라를 활용하여 전국으로 수송, ③ 산업, 운송, 난방 부문에서 그린수소 사용, ④사용하지 않은 그린수소는 지하 동굴에 저장하는 것임
 - 링겐에서 쾰렌키르헨까지 약 130km 길이의 그린수소 네트워크 구축을 시작으로 5,100km 네트워크를 2030년까지 단계적으로 구축할 예정임

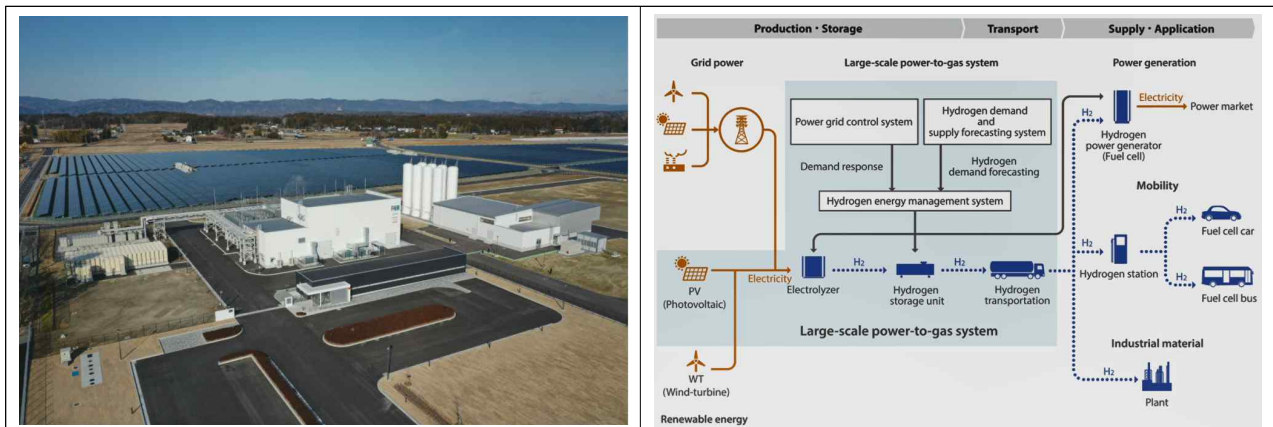
【 GET H2 Initiative 최초 프로젝트 】



※ 자료: GET H2 홈페이지

- 네덜란드의 ‘HyStock 프로젝트’는 네덜란드 가스 전송 시스템 사업자 가스니 자회사인 에너지스톡(EnergyStock)이 개발한 프로젝트로 네덜란드 최초의 P2G설비임
 - 1MW 양성자 교환막 전해조와 1MW 태양광 발전소로 구성되어 수전해로 수소를 생산하여 북부지역 도시 난방을 해결함
 - 재생에너지 발전량에 따라 전해조가 전력소비를 변화하는 방법으로 계통운영 보조서비스를 제공함
- 일본은 세계 최대 수소생산 시설인 ‘FH2R’⁸⁾을 2020년 3월 일본 후쿠시마현 나미에(Namie)에 준공함
 - FH2R 프로젝트는 일본 NEDO, 도시바 에너지 시스템 앤 솔루션스, 도호쿠 전력, 이와타니산업 컨소시엄이 2018년 재생에너지 전력량을 이용하는 10MW급 수소생산 설비를 건설하는 것임
 - 180,000m² 부지에 20MW 태양광 발전설비 및 전력망 전력으로 세계 최대 규모인 10MW급 전해조로 수전해하여 시간당 최대 1,200Nm³의 수소를 생산함
 - 전력망 유연성을 강화하여 에너지 활용을 극대화하고 그린수소 생산비용을 절감해 수소를 생산하여 수소 연료전지 시스템 연료와 연료전지 승용차나 버스에 사용 예정임

【 FH2R 프로젝트 현장 및 개념도 】



※ 자료: 도시바 홈페이지 (<https://www.global.toshiba>)

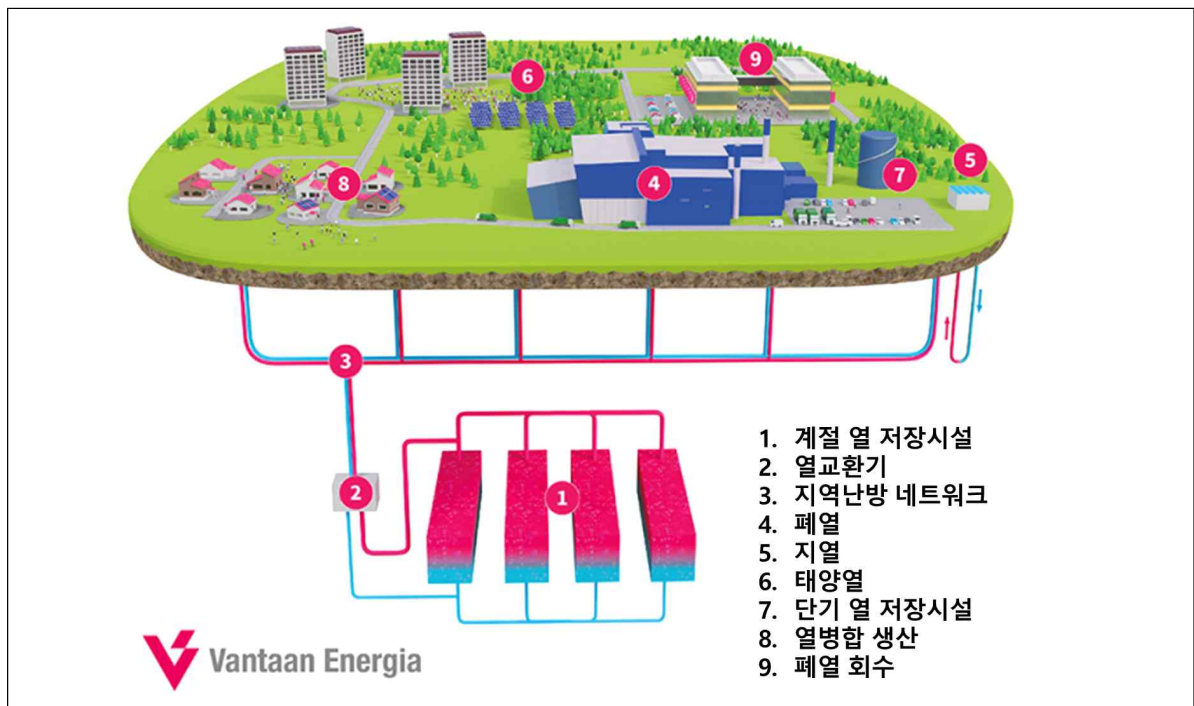
8) Fukushima Hydrogen Energy Research Field

2. Power-to-Heat/Cooling (P2H/P2C)

- 세계적으로 재생에너지가 확대 보급되면서 전력계통의 유연성을 제공하면서 열
부분의 탄소중립을 실현하는 방안으로 재생에너지 전력을 열로 활용하는
Power-to-Heat 프로젝트가 진행되고 있음
- P2H는 난방 수요와 재생에너지 잉여전력 활용을 위한 새로운 메커니즘을
제공하기 시작하였으며, 사업자에게는 새로운 사업의 기회를 부여함
- 스웨덴 유틸리티 회사인 바텐폴(Vattenfall)은 P2H 섹터커플링에 2017년 당시
독일의 최대 규모인 100만 유로를 독일 베를린 스파다우(Spandau) 지역에
120MWh 규모의 전기보일러를 설치하는 ‘Vattenfall 프로젝트’에 투자함
- 바텐폴은 독일 북부의 풍부한 풍력 초과 발전량을 활용하여 2018년 11월
함부르크에서 전기보일러 가동을 시작함
- 22,000리터 용량 3개의 전기보일러는 물을 130℃까지 가열한 후 저장할 수
있으며 지역난방 배관망을 통하여 주거 및 상업시설에 열을 공급함
- 전기보일러가 설치된 이후 열을 공급하던 석탄 화력 발전소 가동이 중단되어
난방 분야에서 화석연료 사용에 의한 온실가스 감축에 기여함
- 핀란드가 추진하는 ‘VECTES 프로젝트’⁹⁾는 세계 최대 규모의 동굴 열에너지
저장장치를 만들어 여름의 따뜻함을 추울 겨울에 활용하는 계절 에너지 저장
프로젝트임
- 동굴 열에너지 저장시설은 핀란드 중소도시의 연간 열 소비량인 90GWh
규모로 건설하여 재생에너지와 폐열을 이용하여 물을 140℃로 가열한 후 지하
동굴에 저장할 계획임
- 저장된 에너지는 겨울철 천연가스 사용을 대체하여 연간 CO₂ 배출량 65,000톤을
감축할 것으로 예상하며, 이는 유럽 그린딜 및 2026년 화석연료 사용 종료 목표
달성을 위한 가장 중요한 단계로 간주함

9) Vantaa Energy Cavern Thermal Energy Storage Project

【 VECTEC 프로젝트 모형도 】

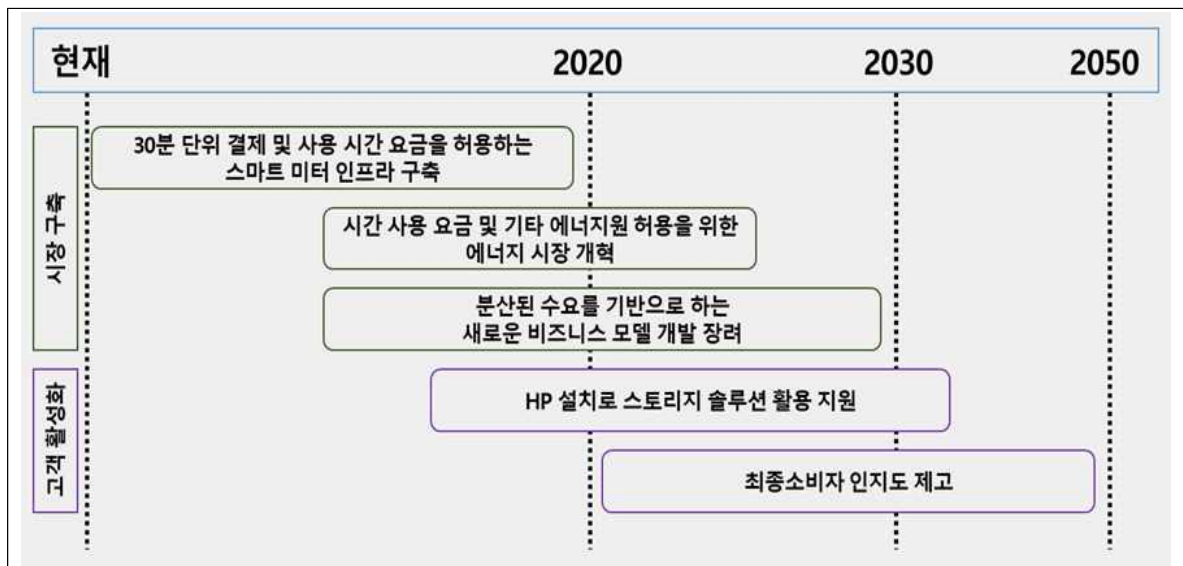


※ 자료: 에너지스토리지 홈페이지 (<https://www.energy-storage.news/>)

- 덴마크 오르후스(Aarhus) 시 열 공급을 위해 2015년 전기보일러 80MW와 전기 히트펌프 2MW를 추가하여 기존 열병합 발전소에서 공급하던 열 공급능력을 확장함
- 전기보일러와 히트펌프는 겨울철 서부 덴마크의 풍력 초과발전량을 사용하도록 설계됨
- 덴마크의 경우 2020년 전력수요의 50%를 풍력 등 재생에너지로 공급하고 있으며, 풍력 및 태양광 발전을 기반으로 2030년에는 재생에너지로 전력 생산의 100%를 달성할 계획
 - 재생에너지의 변동성은 지역난방 및 냉방을 전력화하고 열 저장장치를 설치하여 전력계통에서의 수요와 공급의 균형을 유지하는 데 활용할 계획임
 - 지금까지 전력수요 변화에 따라 전력공급을 조절하여 전력계통 안정성을 유지했다면 앞으로는 타 에너지 저장장치 대비 안정적이고 효과적인 형태의 Power-to-Heat 열에너지 저장장치를 활용해 전력계통 안정화에 기여할 전망임
- 영국은 재생에너지 초과발전량을 빌딩 난방에 필요한 열에너지로 활용하는 방안을 탄소중립 실현을 위한 핵심 기술로 선정하여, 관련 연구를 추진 중임
- 탄소중립 실현에서 P2H의 중요성에 대한 공통의 인식을 가진 우리나라를 비롯한 미국, 프랑스, 영국, 독일 등 9개 국가, 19개 기관이 참여함

- 영국 광역 맨체스터 연합기구(GMCA)¹⁰⁾는 전력계통에 유연성을 제공하는 히트펌프 능력을 입증하기 위해 전력계통 운영의 보조서비스 제공자원으로 히트펌프 500개를 활용함
 - 파일럿 프로젝트는 일본의 신에너지 및 산업 기술 개발 기구¹¹⁾ 협력 하에 시행됨
- 히트펌프가 재생에너지 초과 발전량을 흡수하여 계통운영의 안정성과 재생에너지 활용성을 높이는 효과가 입증되었고, 히트펌프 이용자가 반응할 수 있는 비즈니스 모델의 혁신이 필요한 요건임을 밝힘

【 2050년까지 스마트 히트펌프 시스템의 중요 경로 】



- 여러 Power-to-Heat 시범사업을 통해 전력피크 이전의 효과를 검증함
- EcoGrid EU는 2015년에 덴마크 보른홀름(Bornholm)섬을 대상으로 히트펌프 1,000개와 전기 라디에이터를 활용하는 P2G 시범사업으로 5분마다 설정되는 실시간 전력시장 가격 신호에 난방용 전력수요가 반응하여 섬 전체 피크부하(55MW)의 1.2%인 670kW 감소 효과를 검증함
- 스웨덴 EctoGrid는 여러 건물의 히트펌프와 에어컨을 클라우드 기반 관리시스템으로 연계하여 재생에너지 발전량에 따라 건물에너지 수급 균형을 최적화하여 난방 에너지 78%, 고객 에너지 요금 약 20%가 감소함

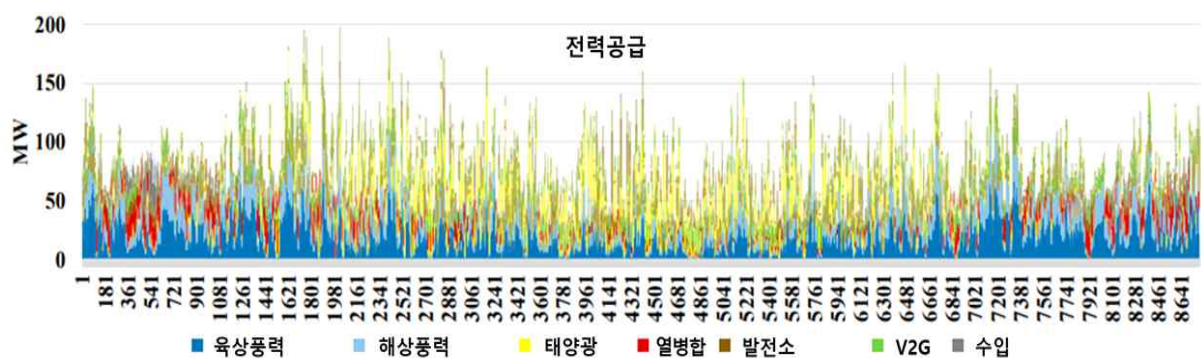
10) GMCA: Greater Manchester Combined Authority

11) New Energy and Industrial Technology Development Organization

3. Power-to-Mobility (P2M)

- P2M에는 재생에너지 잉여 발전량이 많은 시간대에 전기차를 충전 후 필요한 시간대에 운행하는 방식(SmartCharge), 재생에너지 발전량이 부족한 시간대에 주차된 전기차의 전력을 전력공급에 활용(V2G: Vehicle to Grid) 하는 기술이 있음
- 재생에너지 잉여 발전량이 많은 시간대에는 전력시장에서의 전력 가격이 하락하고, 그 반대의 경우에는 전력 가격이 상승하므로 위 기술을 활용하면 재생에너지의 변동성은 완화되고 전기차 소유주는 경제적인 이득을 얻을 수 있음
- 특히, 자가용의 경우 대부분 주차된 현실을 고려한 V2G 기술에 관한 관심이 세계적으로 높음
- 핀란드는 2030년 올란드 제도(Åland islands)의 전기보트 배터리로 확장되는 V2G 연결을 통한 100% 재생에너지 시나리오를 개발함
- 2030년 올란드의 전기보트 배터리 용량 2,750MWh를 V2G에 이용할 때 가장 효율적이며, 이때 가스 저장 용량 1,200MWth, 전해조 용량 6.1MWe, 메탄화 용량 3.9MWhgas 가 필요함
- V2G 기술이 재생에너지 간헐성을 완화해 주므로 V2G 기술을 활용하지 않을 때 대비 연간 총 2억2,500만 유로의 비용을 절감할 수 있고, 지속 가능한 에너지 공급시스템 구축이 가능함

【 연간 시간당 전력 공급량 】



【연간 시간당 전력 저장 수준】



- 영국 실리(Scilly)섬은 탄소 집약적이고 수입 화석 연료 의존도가 높으나 스마트에너지 섬 구현을 위해 재생에너지 발전 및 전기차 확대 프로젝트를 실시함
- 히타치 유럽과 모이사(Moixa)가 협력하여 히트펌프, ESS 설치 및 스마트 에너지시스템을 구현하고, 전력망의 유연성을 제공하여 전력수요와 공급의 균형을 맞추는 데 약 1,070만 파운드를 투자함
- 향후 전기차를 도입하여 재생에너지 발전량이 많은 시간대에 전기차 배터리를 충전하고 전력수요가 많을 때 전기차 배터리에 충전된 전력을 전력망에 공급하는 V2G를 구현할 계획임
 - 청정보호구역인 실리섬에서 V2G 구현 시 전력과 열사용, 자동차에서 발생하는 오염을 줄일 수 있음

IV. 국내 섹터커플링 추진 현황

- 우리나라는 2021년 12월 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 달성과 2050 탄소중립 실현을 위한 13대 분야 197개의 에너지 핵심기술 개발을 담은 ‘2050 탄소중립 에너지기술 로드맵’을 발표함
- 2050 탄소중립 에너지기술 로드맵은 ‘탄소중립 산업·에너지 R&D전략’의 기초자료로 전력계통의 유연성을 확보하는 하나의 방안으로 섹터커플링 전략을 포함함
 - “탄소중립 산업·에너지 R&D전략”에서는 에너지 6대(무탄소 발전, 재생에너지, 계통 선진화, 에너지 저장, 수소화, 에너지 고효율화), 산업·수송 9대, 탄소중립 공통 2대(자원순환, CCUS)로 총 17대 분야 제시
- 섹터커플링의 주요 내용으로는 P2X를 통한 재생에너지 연계 재전력화, 대규모 기계적·열 화학적 에너지 저장시스템 이용 등이 포함됨

【 2050 탄소중립 에너지기술 로드맵 일부 】



※ 자료: 산업부 보도자료(2021.12.2)

V. 섹터커플링 관련 주요뉴스

- 경직성 전원 재생E 확대에 유연성 수요로 섹터커플링 주목, 전기신문, 2021.09.03
 - 재생에너지 출력제어가 시행되고 있는 제주도를 대상으로 전기차 섹터커플링 효과 검증
 - 전기차 섹터커플링 기술 적용 시 최대 18.5%의 재생에너지 차단 감소 효과
- 오락가락 재생E, 섹터커플링 도입 고려해야, 전기신문, 2021.09.14
 - 재생에너지 보급 확대에 따른 전력공급 불안전성을 해결하려면 섹터커플링 도입 필요
 - 독일은 지멘스 등 수전해 선도기업을 내세워 독일 전역에 P2G 프로젝트 추진 중
- [IT과학칼럼] 탄소중립과 섹터커플링, 헤럴드경제, 2021.08.05
 - ‘Power-to-X(P2X)’로 표현되는 섹터커플링은 간헐성·변동성을 갖는 재생에너지의 효율적 보급·활용을 위해 재생전력을 다른 형태의 에너지로 변환·사용·저장하고 발전·난방·수송 부문을 연결하는 시스템을 의미
 - 전기-연료-열의 균형적 탈탄소화를 통해 비용효율적인 에너지 시스템 통합이 가능
- [인터뷰] 심현보 / 전력거래소 중앙전력관제센터장, 에너지데일리, 2022.01.01
 - 섹터커플링 전략으로 전력 시스템의 유연성을 확보해 변동성 재생에너지의 수용성을 높이고, 국가 전체의 에너지 사용 효율성을 향상과 에너지 공급의 신뢰성을 높일 수 있음
 - 양수발전기나 배터리 저장장치 등 백업전원 설치 규모를 줄일 수 있어, 탄소중립을 지향하는 에너지시스템의 전체 비용을 낮출 수 있음
- 재생E 잉여전력, 열로 활용한다, 투데이에너지, 2021.01.22
 - 재생에너지로 전력공급 외에도 전기나 열, 가스 형태로 활용할 수 있는 기술에 관한 관심이 제고되는 가운데 특히 열에너지를 재생에너지 잉여전력으로부터 공급할 수 있도록 하는 P2H(Power to Heat)를 주목할 필요
- 그린수소 대량생산 길 열었다…효율 높은 촉매 제조기술 개발, 연합뉴스, 2022.03.11
 - 청정에너지인 그린수소를 저렴하게 대량생산할 수 있는 비귀금속 촉매 제조기술이 개발됨

- 새 촉매 기술은 효율이 뛰어나고 제조단가가 낮은 그린수소를 대량생산 하는 데 기여하고, 국내 수소경제 사회 구축을 앞당길 것으로 기대
- 전기차, 캠핑장 가전제품 돌리는 수준 넘어 ESS로 쓴다고?, 한겨레, 2022.03.07
 - 남는 전력 활용하는 V2G기술 현실로, 전기차 10만대=1GW 발전소이며 배터리에 저장된 전력 연결해 전기수요 높은 시간에 꺼내 쓸 수 있음
 - 전기차 전력은 태양광·풍력의 변동성 보완, 연간 전력 부하 8%까지 감소 가능하며 실험 결과 V2G로 써도 전기차 배터리 수명은 약 1% 차이
- 전기차 배터리로 빌딩·도시 충전 기술의 진화 ‘V2G’ 점점 현실로, 헤럴드경제, 2022.02.18
 - ‘V2G(Vehicle to Grid)’ 기능을 서비스로 개발하려는 국내외 기업들의 다양한 노력이 결실
 - V2G는 전기차에 탑재된 배터리를 전력저장장치(ESS)처럼 활용해 전력 계통에 연계하는 기술을 말하며, 양방향 전력 전송기술을 활용하면 전기차에서 전기를 방전해 피크타임 시 전력 부하에 도움을 주거나 정전에 대응
 - 시장조사업체 KBV 리서치에 따르면 글로벌 시장에서 V2G 기능이 탑재된 전기차 시장은 2019년 1,270억달러에서 연평균 14%씩 성장해 2025년 4790억달러로 증가할 것으로 예상
- 한전 전력연구원, 전기차 ‘V2G 실증’ 추진, 전국매일신문, 2021.07.31
 - 한국전력 전력연구원이 전기차 배터리와 전력망을 연계해 배터리의 전력을 이용하는 V2G기술의 일반고객 실증에 착수
 - V2G기술은 전기차를 운행하지 않을 때 배터리의 전력을 활용하는 기술로 전기차의 배터리를 ESS나 양수발전소와 같이 활용할 수 있어 발전소 추가 건설 없이 미래 전력망을 친환경적으로 운영 가능
 - 태양광과 같은 재생 발전을 효율적으로 저장해 출력제한 없이 운영 가능
- 전기차 V1G 충전제어 첫 실증...하반기엔 V2G 착수, 이투뉴스, 2021.06.02
 - 발전량이나 전력수요 변화에 맞춰 전기차 충전속도를 조절하거나 아예 충전전력을 계통으로 방전하는 V1G(단방향충전제어)와 V2G(양방향충전제어) 실증이 본격화

- 한전 전력연구원은 수도권과 광역시, 제주 기타지역 등 4개 권역에서 모집한 전기차 130여대에 V1G 스마트충전기와 차량단말기를 설치해 충전전력 직접 제어효과를 검증하는 실증연구에 착수
- 연구원은 이번 V1G 충전 실증을 통해 피크시간대 부하감축과 같은 전통 수요반응(DR)과 최근 제주지역 재생에너지 출력제한에 대응한 충전제어 등 다양한 시나리오를 검증하기로 함

〈참고자료〉

에너지경제연구원, 2020, 『재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구』

산업통상자원부 보도자료, 2021.12.2, 에너지 탄소중립 13대 분야, 197개 핵심기술 로드맵 발표

Alexander Nordling and Christian Breyer, 2018, *The Impacts of High V2G Participation in a 100% Renewable Åland Energy System, energies*

ByAndy Colthorpe, July 13, 2021, *“Million cubic metre 90GWh thermal storage project in Finland could begin construction next year,” Energy-Storage*

Danish Energy Agency, 2017, *Technology Data Renewable fuels*

Delta Energy & Environment, 2018, *IEA HPP Annex 42: Heat Pumps in Smart Grids, UK Executive Summary*

EcoGrid EU, 2015, *EcoGrid EU: Findings and recommendations*

IRENA, 2019a, *Power to Heat*

IRENA, 2019b, *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables*

ETIP-SNEP, 2020, *Sector Coupling: Concepts, State-of the-art and Perspectives*

European Union, 2020, *Heat Roadmap Europe*

Hitachi, 2022, *Smart Energy Islands - Isles of Scilly: Sharing locally-produced energy using the IoT*

〈참고사이트〉

유럽가스망: <https://www.entsog.eu/power-gas>

호주 energy-innovation: <https://www.energy-innovation-austria.at/>

Hitachi: https://social-innovation.hitachi/en-eu/case_studies/smart-energy-islands-isles-of-scilly/

Global Toshiba: <https://www.global.toshiba/>

EnergyStock: www.EnergyStock.com

Energy-storage: <https://www.energy-storage.news/>

Hybrid프로젝트: <https://www.hybridge.net/>

Hybalance프로젝트: <https://hybalance.eu/>

EcoGrid프로젝트: www.eu-ecogrid.net

Qualygrids프로젝트: <https://www.qualygrids.eu>

Get-h2프로젝트: <https://www.get-h2.de/en/initiativeandvision/>

Vattenfall프로젝트: <https://group.vattenfall.com/>

글로벌 에너지 동향 이슈 보고서

발 행 처 ■ 한국에너지기술평가원 글로벌협력실
서울특별시 강남구 테헤란로 114길 14
Tel. 02-3469-8400 Fax. 02-555-2430
www.ketep.re.kr

발 행 일 ■ 2022년 3월

집 필 자 ■ 전력거래소 심현보
한국능률협회컨설팅 이한나



한국에너지기술평가원
Korea Institute of Energy Technology
Evaluation and Planning

*"본 글로벌 에너지 동향 이슈 보고서의 분석 결과는 연구진 또는 집필자의 개인 견해로,
한국에너지기술평가원의 공식적인 의견이 아님을 밝혀 둡니다."*