

2023년 중소기업 전략기술로드맵

# ISSUE REPORT



중소기업기술정보진흥원



2023.

Vol. 4

## 새로운 에너지 전략 섹터커플링



# TIPA | 이슈 리포트

## 새로운 에너지 전략 섹터커플링

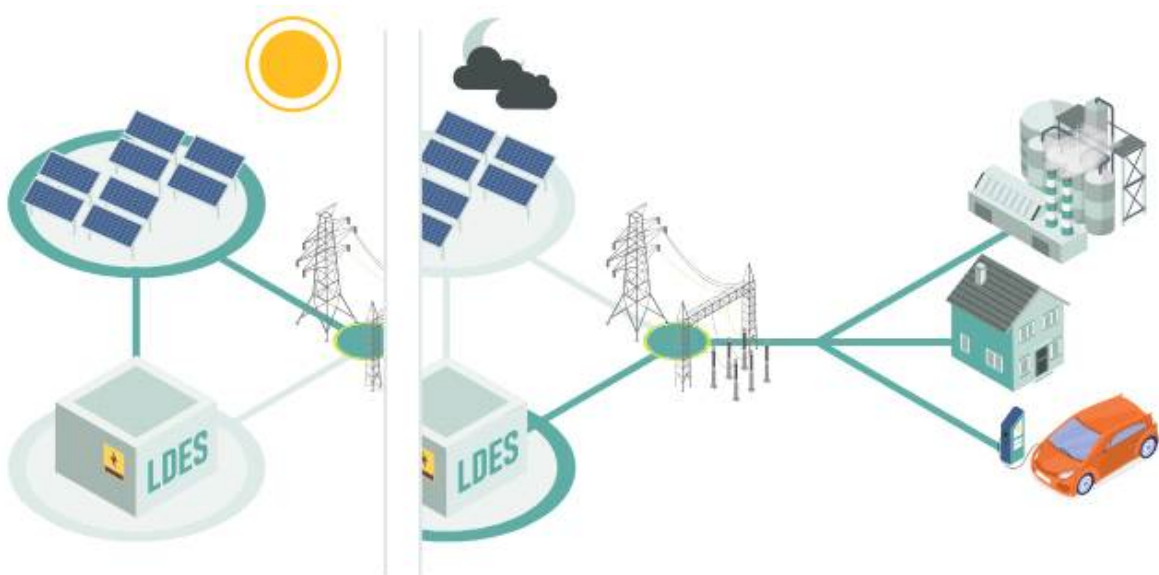
- I. 섹터커플링 개요
- II. P2G 현황
- III. P2H와 P2M 현황
- IV. 결론 및 시사점

# I. 섹터커플링 개요

## 1 섹터커플링의 개념

- 기후변화에 대응하는 재생에너지의 확대가 친환경성은 높일 수 있으나, 전력 계통에서는 변동성을 증가시킬 수 있음
  - 태양광 풍력 등의 재생에너지는 친환경적인 전력을 제공함으로써 기후변화 대응에 이바지하는 장점이 있어 우리나라를 비롯한 많은 나라에서 비중이 확대되는 중
  - 변동성이 큰 기상 조건에 의존하는 재생에너지는 전력 계통에 급격한 불확실성을 가져오고 계통이 지니는 관성을 낮추어 안정적인 전력 공급이 어려움
  
- 세계적인 컨설팅 기업 맥킨지(McKinsey)는 2021년 11월 발표한 산업보고서에서 섹터커플링과 유사한 개념인 장기 에너지 저장 시설((Long-Duration Energy Storage, LDES)은 태생적으로 가변적인 재생에너지를 그리드에 통합하고 에너지 체제의 유연성을 강화하는 데 중요한 역할을 담당할 것이라고 분석<sup>1)</sup>
  - 재생에너지의 비율이 증가함에 따라, 전력 균형을 위해 공급과 수요, 전송 흐름 패턴의 변화, 시스템 안정성 저하 예방이 필요하며 LDES는 전력 시스템의 유연성을 높여 이러한 문제를 해결하는 데 도움이 될 수 있어 향후 매우 유망한 산업의 하나라고 주장

[ LDES의 개념 ]

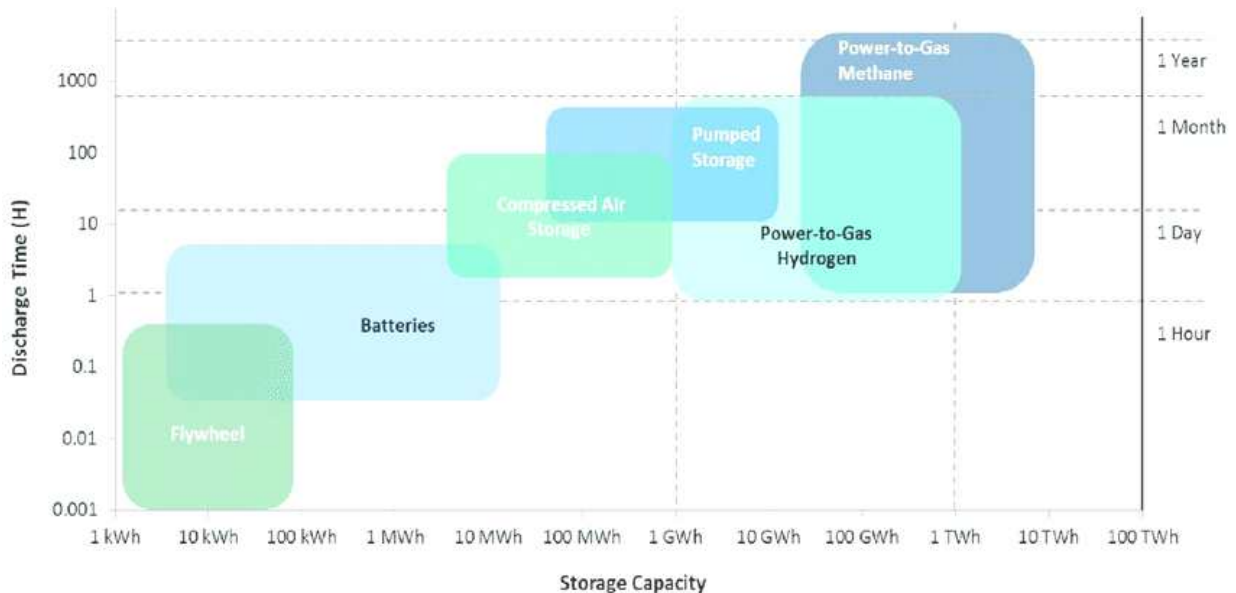


\* 출처: Net-zero power: Long-duration energy storage for a renewable grid(McKinsey & Company, 2021.11)

1) Net-zero power: Long-duration energy storage for a renewable grid(McKinsey & Company, 2021.11)

- 섹터커플링(Sector Coupling)이란 재생에너지 등의 확대에 발생한 발전 부문의 잉여전력을 열(P2H), 가스(P2G), 운송(P2M, V2G) 부문의 에너지와 결합하여 필요할 경우 상호 전환하여 활용하는 기술을 의미하며 넓게는 에너지 생산과 소비 부문의 상호 연결을 의미<sup>2)</sup>
  - 독일의 에너지 전환정책에서 소개된 개념으로, 초기에는 재생에너지 이용 확대 및 전력 공급 안정화를 위한 최종 소비 부문에서의 전력화를 의미하였으나 현재는 개념이 확대되어 에너지 생산 부문과의 결합까지 포함하고 있음
  
- Power-to-X란 전력(Power)을 다른 형태(X)의 에너지로 변환해 사용하거나 저장하는 방법
  - 특히 재생에너지 발전으로 발생하는 초과공급 전력을 경제적으로 변환하거나 활용하여 탄소중립에 기여하고 계통에 유연성을 공급하는 것이 핵심임
  - X에 해당하는 변환 에너지 중 Heat(열), Mobility(운송), Gas(가스)가 향후 활용 및 경제성 측면에서 가장 주목받고 있음
    - 기타 배터리 에너지 저장(리튬이온 배터리)<sup>3)</sup>, 양수식 저장<sup>4)</sup>, 액체 공기에너지 저장<sup>5)</sup>, 압축 공기 에너지 저장<sup>6)</sup>, 플라이휠 에너지 저장<sup>7)</sup> 등의 방법이 있음

[ 에너지 저장기술 ]



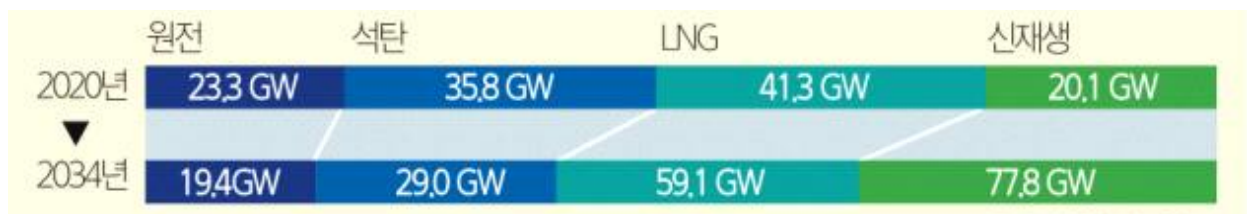
\* 출처: A Critical Study of Stationary Energy Storage Policies in Australia in an International Context: The Role of Hydrogen and Battery Technologies(Jason Moore, Bahman Shabani, 2016.08)

2) 분산에너지 활성화 추진전략(산업통상자원부, 2021. 6. 30)을 기반으로 일부 보완  
 3) ESS의 경우 화재 위험성 문제를 아직 명쾌하게 풀지 못하고 있고 전력을 원거리 운송하는 데에도 한계  
 4) 전력 수요가 적을 때, 물을 높은 곳에 있는 저수지로 양수하여, 위치에너지를 저장하고, 전력 수요가 많을 때는 높은 위치에 있는 저수지의 물을 방류하여 터빈을 돌리고 발전  
 5) 액체공기 에너지 저장에서는 전력 수요가 작을 때는 공기를 냉각시켜 액화한 뒤, 지상에 있는 단열탱크에 저장  
 6) 잉여전력으로 공기를 압축하여 지하 또는 지상의 컨테이너에 가압하여 저장한 뒤 전력 수요가 있을 때 공기를 따뜻하게 팽창시켜 터빈을 구동하고 발전  
 7) 플라이휠 시스템(FES)은, 모터로 회전시킨 회전체(휠이나 실린더)에 운동에너지를 저장하는 한 후 모터를 발전기로 써 역회전시켜 전기에너지로 회수

## 2 섹터커플링의 필요성

- 변동성이 큰 신재생에너지의 확대에 의해 일시적 잉여전력이 발생하게 되고 이를 저장하거나 변환하여 전력 계통을 안정적으로 운영하기 위한 시스템 구축이 필요
  - 국내 재생에너지 보급 확대에 따라 장단기 에너지 저장설비의 증설 필요성 증가
    - 2017년 5.7 GW 수준에 불과했던 태양광 발전설비를 2030년까지 36.5 GW 수준으로 증가시킬 계획이며, 풍력은 대규모 프로젝트 건설을 통해 2030년까지 16GW 규모의 추가 확대를 추진 중
    - 수소저장이 용이한 소금 동굴 층이 많이 있는 유럽과 미국의 일부 지역에서는 재생에너지의 계절적인 변동성에 대응하기 위한 저장하는 방법으로 P2G(Power to Gas)를 활용하려는 사례 증가(독일에서는 2019년 풍력발전 제한량이 6,482GWh에 달했고 보상비용으로 약 7억 유로를 전기요금의 전력망 이용료 항목에 반영)
    - 단, 우리나라의 지형은 수소저장이 용이한 지질적 특성이 부족하여 해외의 사례를 그대로 받아들여 계절적 변동성에 대응하는 대규모 에너지 저장 시설로 P2G를 활용할 수 없음

[ 제 9차 전력수급기본계획에서의 발전설비별 비중 전망 ]



\* 출처: 제9차 전력수급기본계획(산업통상자원부, 2020)

- 우리나라는 에너지전환 정책추진으로 향후 봄, 가을 재생에너지 공급이 전력 수요를 초과하는 상황이 발생할 수 있어 전력 계통의 안정성 제공 수단으로 섹터커플링 연구 필요성이 증가
  - 제주도는 재생에너지 발전소가 도내 전체 발전 설비용량의 66%를 차지하고 2022년 상반기에 출력 제한량 횟수가 연간 80회를 초과(2020년 연간 77회가 종전 최다이며, 그해 19.4GWh의 전기를 생산하지 못했고 이에 따라 약 34억 원의 비용이 발생)<sup>8)</sup>
  - 대규모 태양광 및 풍력의 도입으로 나타날 수 있는 출력제한 문제를 해결하고 잉여전력을 그린수소의 생산원료 (feedstock)로 활용할 수 있으며 보다 적극적으로는 변동성 자원 유입으로 나타나는 계통 불안정성을 완화하기 위해 에너지 저장 수단으로서 섹터커플링 기술을 적용
- 전 세계적으로 재생에너지 설비의 확대에 따라 전력 계통의 불안정성이 재생에너지 설비 설치 지역뿐만 아니라 광역 단위에서도 증가함에 따라 계통 안정화 서비스에 대한 수요 역시 증가
  - 계통주파수가 여러 가지 계통 불안정 유발 요소로서 60Hz(유럽 50Hz)를 벗어나면 긴급하게 출력을 변동시켜 정상 수준으로 계통주파수를 복구시킬 수 있는 발전 능력이 확보되어야 함
  - 계통운영자는 추가적인 발전 능력인 예비력을 평상시 계통주파수 유지를 위하여 사용되는 “주파수 제어 예비력”과 고장 발생 시(사고 등) 계통주파수 회복에 사용되는 “주파수 회복 예비력”으로 구분하여 운영하면서 발전설비를 최대 출력보다 일정 수준 감소시켜 운전지시하는 경우 발생

8) 2034년 제주 재생발전 출력제한 손실만 5,100억(석유가스신문, 2021.10.19)

[ 제주 신·재생 발전설비 증가 추이 및 출력제어 현황 ]

단위 : MW

구분	태양광	풍력	기타	합계	출력제어 횟수(회)	출력제어량(MSh)
2016년	92.6	270.9	8.5	372.0	6	252
2017년	125.4	272.9	8.8	407.1	14	1300
2018년	184.9	266.5	8.8	460.2	15	1366
2019년	293.8	290.3	8.2	592.2	46	9223
2020년	420.1	294.7	8.5	723.3	77	1만 9449
2021년	263.0	295.0	9.0	829.0	64	1만 2016
2030년 (목표)	1411.0	2345.0	329.0	4085.0		

\* 출처: 남아도는 전력에 신재생 출력제한 증가... "양수발전 적극 검토해야"(이데일리, 2022.10.19.)

□ 2040년 수소공급 목표 달성을 위해 수소공급설비의 확대가 필요

- 수소경제 활성화 로드맵에서는 2040년에 연간 526만 톤 이상의 수소를 공급한다는 목표를 설정
  - 이 중 30%는 추출수소, 70%는 해외 생산, 부생수소, 수전해를 통해 확보
  - 현실적으로 상당량의 수소공급을 수입에 의존할 수밖에 없으며, 그린수소의 생산에는 수전해 시설이 필수적
- 수소경제 활성화 목표 가운데 가장 큰 난관은 수소 산업 생태계 구축
  - 대기업 중심의 '수소 기업 협의체'와 수소경제 확산을 뒷받침할 '수소경제 실무위원회'가 2021년 출범했고 범정부 차원의 협력과 기획으로 10년 동안 최대 10조 원 규모의 신규 기술 실증 및 상용화 프로젝트를 추진

[ 수소활성화 로드맵 2040 목표 ]

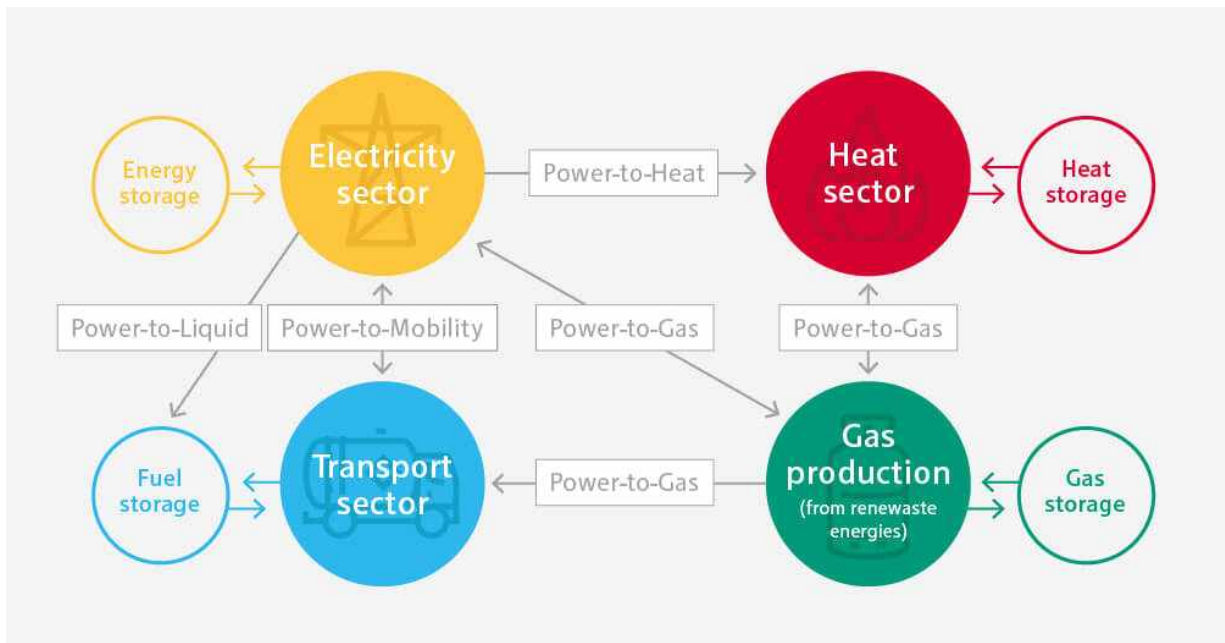


\* 출처: [특집] 세계 최고 수소경제 선도국가로(공감, 2021.10.11.)

### 3 Power-to-X 개요

- 섹터커플링은 P2X(Power-to-X)로 표현하고 여기서 Power가 재생에너지 전력을 나타내는 것이므로, 재생에너지 전력을 어느 형태로 활용 혹은 저장하느냐에 따라 X가 변화
  - 일반적으로 P2H(Power-to-Heat)는 전력을 열에너지 형태로 저장 혹은 활용하는 것을 의미하며, P2M(Power-to-Mobility)은 수송부문의 전력화를 P2G(Power-to-Gas)는 전력의 가스화를 의미

[ 섹터커플링과 P2X 개념도 ]



\* 출처: en-former 홈페이지(<https://www.en-former.com/en/electricity-the-new-fuel/>)

#### □ Power-to-Heat(P2H)<sup>9)</sup>

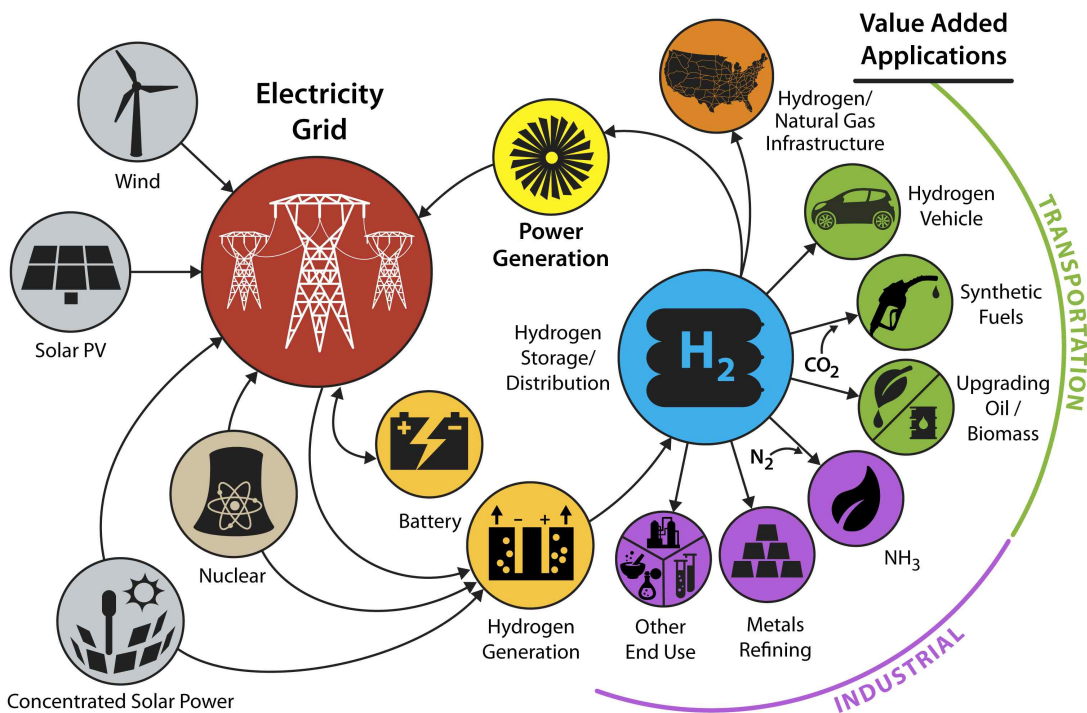
- (정의) 전기에너지를 열에너지로 변환하는 것을 의미하며, 현재 가장 시장경쟁력 있는 솔루션으로 재생에너지 전력으로 히트펌프, 전기보일러를 가동하여 얻은 열에너지를 생산 및 활용
- (특징) 계통 유연성 공급, 재생에너지 출력제한 완화 및 에너지효율 향상에 기여가 가능
  - 재생에너지 초과공급 발생 시 기존 화석연료 난방을 전기 난방으로 전환하거나 열에너지를 미리 생성하여 저장·사용하는 방법 등의 잉여전력을 활용한 출력제한 완화
- (기술과제) 전력 부하 증가에 대한 대비와 재생에너지 활용성을 극대화할 수 있는 건물과 공장 등의 통합 중앙 제어 시스템 필요

9) 섹터커플링의 개념과 기후변화 행동주의 사례(한전경영연구원, 2021.12)

□ Power-to-Gas(P2G)<sup>10)</sup>

- (정의) 에너지 저장 수단 및 전력 시스템 변동성 대응 수단으로서 P2G 활용에 관심이 집중되고 있으며, 전기에너지로 수소, 메탄과 같은 연료를 생산하는 기술로, 물을 전기 분해하여 수소를 생산하는 수전해 기술이 핵심
  - 재생에너지 발전이 증가하여 잉여전력이 발생할 때 출력제한(curtailment)을 하기보다는 잉여전력을 활용한 “그린수소”의 생산을 늘리는 한편, 그린수소를 포함한 이산화탄소와 결합하여 탄소 중립적 메탄을 생산하는 것과 같이 P2G 활용을 다양화
  - P2G로 생산한 그린수소는 재생에너지의 저장 수단이자, 친환경 에너지원으로 이용되어 탄소중립 실현의 필수 방안으로 주목받고 있음
  - P2G의 대부분은 수전해를 통한 수소 생산이며, 추가 단계(2단계 P2G)를 거쳐 메탄 등으로 전환하는 과정에서 포집된 CO<sub>2</sub> 사용
- (특징) P2G 수소 생산·저장으로 재생에너지 변동성 대응 및 공급 안정화에 기여
  - 재생에너지 잉여전력으로 Gas(수소)를 생산하고, 공급 부족 발생 시 연료전지 발전, 수소혼소발전(실증 단계)으로 계통에 전력을 공급 가능
- (기술과제) 수소생산 원가경쟁력 확보 및 안정화된 공급망 등 수소 산업의 전반적 기반 구축이 필요
  - 현재 그린수소는 생산설비 이용률, 재생에너지 발전단가 등으로 원가경쟁력이 낮음
  - 기반 구축을 위해 공급망(배관, 운송) 관련 제도를 아우를 수 있는 종합 대책 필요

[ Power-to-Hydrogen의 개념도 ]



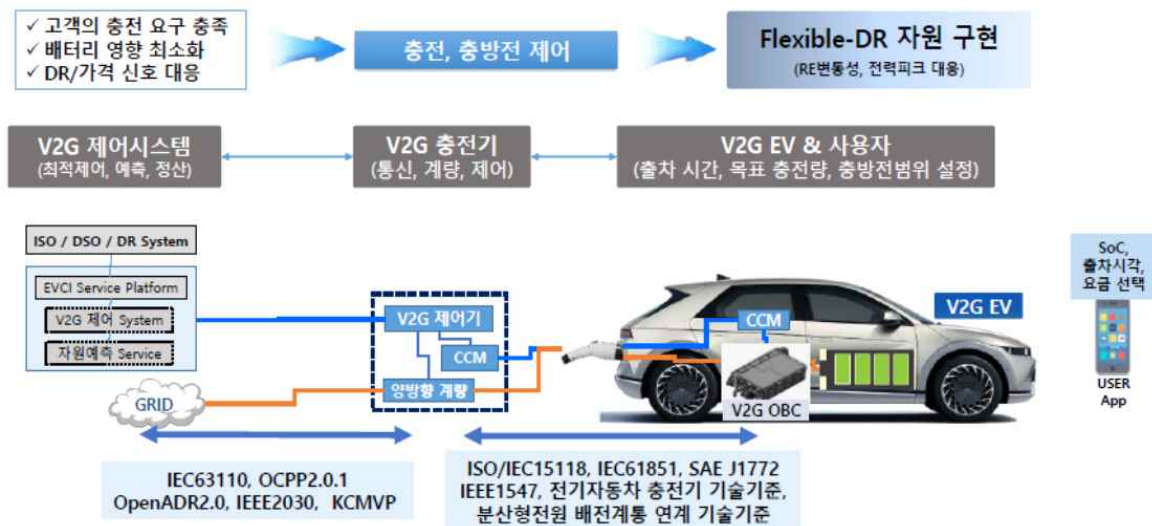
\* 출처: <http://www.gecos.polimi.it/research-areas/hydrogen-fuel-cells-and-electrochemical-energy-systems/>

10) 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구(이태의, 에너지경제연구원, 2020.12)의 내용을 참고하여 기술

□ Power-to-Mobility(P2M)<sup>11)</sup>

- (정의) 전기에너지를 배터리 등에 저장하여 운송 부문을 전기화하는 기술로 전기차 시장 성장에 따라 미래 탄소중립의 가장 효과적인 전략으로 주목받음
- (특징) 전기차 스마트 충전을 통해 수요 반응 서비스를 제공하여 수급 안정화 이바지함과 동시에 더 많은 재생에너지를 수용할 수 있게 하여 규모의 경제를 실현하고 탄소중립에 기여
  - \* 스마트 충전은 전기자동차충전 체계 내에 참가한 모든 주체 간 정보를 교류하여 전기자동차의 주행 가능성을 보장하는 동시에 충·방전을 가장 비용 효율적으로 수행하고 전력망의 안정을 도모하는 시스템으로 정의
    - 스마트 충전의 종류는 타입별로 V1G, V2G(Vehicle-to-grid), V2H(Vehicle-to-home), V2B(Vehicle-to-building)로 구분
    - \* V1G는 충전소 운영자가 주변의 충전 상황과 전력망 상황을 고려하여 전기자동차의 충전 속도를 조절할 수 있는 단방향 충전 제어
    - \* V2G는 V1G에 전기자동차 배터리의 전력을 전력망에 제공하는 방전 모드를 첨가한 양방향 충전 제어로서, 전기자동차의 충·방전을 모두 제어하여 전력망에 유연성 자원을 제공 가능
    - \* V2H는 전기자동차 배터리의 전력을 건물의 예비(back-up)전력 및 건물 에너지 관리에 활용하는 스마트 충전 종류로서, V2H는 가정의 예비전력 및 에너지 관리에 활용
- (기술과제) 스마트 충전 가능 충전기 보급 확대 이전에 충전과 통신 제어 관련 표준화가 선결 필요
  - \* V2X, V2G의 기능을 할 수 있는 전기자동차는 보급이 안 된 상태로 이에대한 정책적 고려도 필요

[ 스마트 충전 시스템 개요 ]



\* 출처: E-mobility 성장에 따른 석유·전력·신재생에너지 산업 대응 전략 연구(신재생에너지)(에너지경제연구원, 2021.12)

11) E-mobility 성장에 따른 석유·전력·신재생에너지 산업 대응 전략 연구(신재생에너지)(에너지경제연구원, 2021.12)

## II. Power-to-Gas

### 1 수소의 특성<sup>12)</sup>

- 수소는 가볍고 저장할 수 있으며 반응성이 있고 단위 질량당 에너지 함량이 높아 운송 연료로서 장점이 있으며 작은 산업 규모로도 비교적 쉽게 생산하는 것이 가능
  - 하지만 수소는 가장 가벼운 원소로 부피 단위당 에너지밀도가 낮으므로 상대적으로 더 크거나 빠르게 흐르는 파이프라인과 더 큰 저장탱크가 필요
  - 수소는 압축, 액화 또는 더 높은 에너지밀도를 갖는 수소 기반 연료로 변환될 수 있지만 이를 위해서는 에너지가 사용
  
- 수소는 에너지를 담은 상태로 존재하는 에너지원이 아니라 수소 생산을 위해 투입된 다른 에너지원을 전기와 같은 최종에너지 형태로 전달하는 에너지운반체의 특성을 보유
  - 수소는 우주 물질의 75%를 차지할 만큼 풍부하지만, 지구상에는 산소나 탄소 등 화합물 형태인 물과 탄화수소의 형태로만 존재하기 때문에 수소를 사용하려면 이러한 화합물로부터 수소를 분리해야 하는데 이 때 다른 에너지를 원료 혹은 연료로 투입해 가공하거나 전환하는 과정이 필요
  
- 에너지운반체인 수소와 전기는 공통점이 많은 편이지만 차이점으로 인해 수소의 매력적 요소가 두드러질 수 있음
  - 수소와 전기 모두 다양한 에너지원과 기술로 생산될 수 있고 다목적이며 다양한 분야에서 사용할 수 있으며, 탄소와 유해 물질 발생이 화석연료에 비해 상대적으로 매우 적음
    - 수소가 연료전지에 사용되면 물만 배출되지만, 석탄, 석유 또는 LNG와 같은 화석연료에서 생산되는 경우 조건에 따라 이산화탄소를 배출
  - 수소와 전기의 결정적 차이점은 수소는 전자뿐 아니라 분자로 구성된 화학에너지 운반체라는 점으로 석유, 석탄, 바이오매스, LNG와 마찬가지로 안정적인 방식으로 저장, 운반될 수 있음
    - 탄소나 질소 등 다른 원소와 결합해 취급하기 쉬운 수소 기반 연료를 만들 수 있고, 산업부문에서 공급 원료로 사용되고, 선박을 통해 운송될 수도 있고, 연소하여 고온을 발생시키기 때문에 화석연료 특히, LNG를 중심으로 설계된 기존의 인프라와 비즈니스 모델에 얼마든지 활용이 가능
  
- 수소는 매우 작아서 파이프라인이나 저장탱크로부터 LNG에 비해 쉽게 빠져나올 수 있으며, 무독성 가스지만 화염 속도가 빠르고 점화 범위가 넓으며 가연성이 높음

12) P2G 시스템의 핵심, '수소'(조성경, 전기저널, 2021.10.12.)

## 2 수소의 생산과 활용

### ◎ 수소의 생산방식

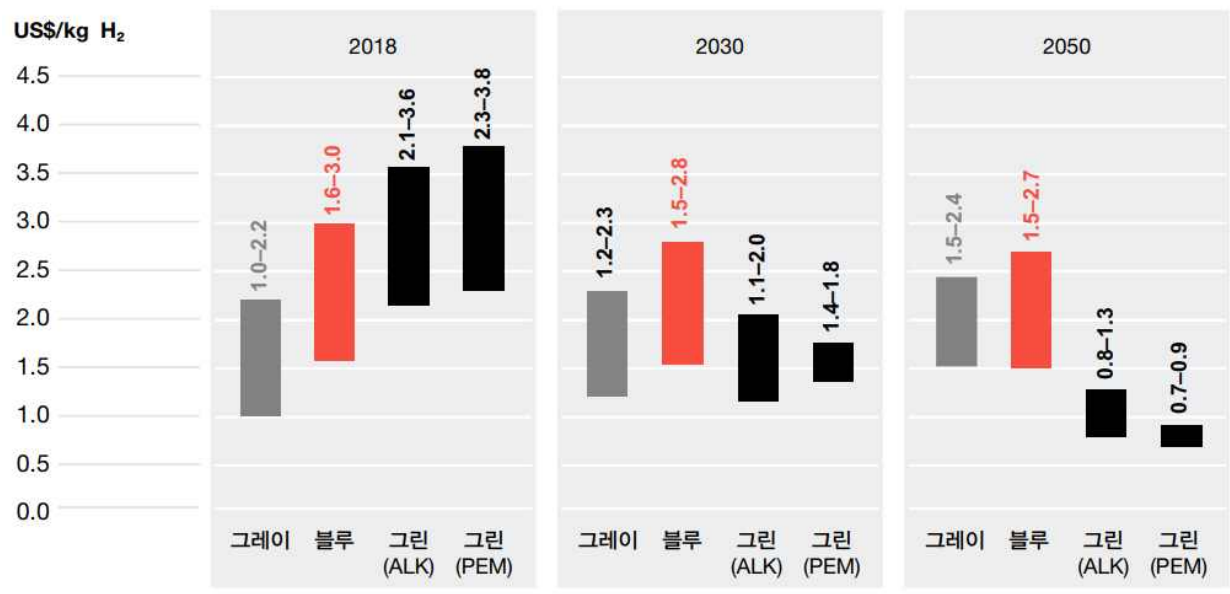
- (그레이수소) LNG를 개진해서 생산하는 개질수소나 정유 공정의 나프타 분해 과정에서 부산물로 생산되는 부생수소를 통칭하며, 부생수소를 백색 수소라고 따로 부르는 일도 있음
  - 생산비용은 저렴하지만, 수소 1kg당 5~7kg의 이산화탄소가 발생하는 것이 문제
- (블루수소) 그레이수소 생산과정에서 나오는 탄소를 포집·저장(Carbon Capture and Storage, CCS)하거나 활용(Carbon Capture & Utilization, CCU) 함으로써 이산화탄소 배출량을 줄인 수소
  - 이산화탄소를 100% 포집하는 것은 불가능하므로 CCS나 CCU의 기술 수준에 따라 비용과 친환경성이 결정
- (청록수소) 메탄을 열분해해 생산하는 수소를 의미하며 메탄이 주성분인 LNG를 열분해해 수소와 고체 탄소를 직접 분리하고 카본블랙은 가공해 자동차 타이어, 플라스틱, 배터리 등 다른 제품의 원료로 사용
  - 단, 생산과정에서 배출된 고체 탄소 잔류물이 대기로 배출되지 않고 영구적으로 고체 형태로 유지될 수 있어야 청록수소로 인정받음
  - 블루수소와 비교해 탄소 포집과 저장 공정이 필요하지 않아 생산 비용이 낮아지고, 물을 분해해 수소를 생산하는 그린수소와 대비해 전력 소모량이 작은 편
- (그린수소) 수전해를 실행하기 위해서는 에너지가 필요한데, 이 에너지를 재생가능 에너지원에서 생성하기 때문에 이러한 형태의 수소를 “그린수소”로 분류<sup>13)</sup>
  - (알칼라인 수전해(alkaline water, ALK)), (고분자 전해질막 수전해(polymer electrolyte membrane, PEM)), (고체산화물 수전해, Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC) 등의 방식이 있으며, 이중 알칼라인 수전해 방식과 고분자 전해질막 수전해 방식은 운영 중이나 고체산화물 수전해는 현재 연구 중
- 재생에너지를 이용한 수소 생산방식은 전력 계통과 수전해 장치와의 연계를 통하여 무탄소 그린수소 생산을 가능하게 하지만 현재 수전해 기술을 통한 수소 생산은 큰 비용이 소요
  - 100MW급의 AEL 수전해 시스템이 25%의 이용률로 운영되면 수소 생산비용이 약 6,400원/kg-H<sub>2</sub> 수준이라고 제시하고 있는 연구<sup>14)</sup>가 발표된 바 있는데 2040년의 수소 가격인 3,000원/kg-H<sub>2</sub>를 고려하면 경제성이 매우 부족한 것이 현실

13) 밝아오는 그린수소의 미래(삼일PWC, 2021)

14) 재생에너지 기반 그린수소 생산 시스템의 기술 경제성 분석(박정호 외, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 2020)

- 하지만, 그린수소의 생산단가는 현재 전통적인 수소에너지 생산방식, 예를 들어 그레이수소 생산 방식보다 2배 정도 높지만, 수전해기술의 발전과 재생에너지 생산원가의 감소 및 규모경제가 실현될 경우 원가가 지속적으로 낮아질 것으로 예상
  - 고분자전해질 수전해(PEM) 기술의 발전으로 인해 수소에너지 시스템의 효율성이 약 90% 가량 개선되었고, 발전 시스템은 대략 8만 시간의 운영주기를 갖게 됨
  - 또한, 새롭고 저렴한 원료 개발로 인해 현재 800~1,400달러/kW에 달하는 PEM 설비비용이 하락하여, 2050년에는 200달러/kW까지 저렴해질 것으로 기대

[ 생산방식별 수소 생산 비용 비교 ]



재생에너지의 LCOE (US\$/MWh)

30-45

18-26

14-18

\* 출처: 밝아오는 그린수소의 미래(삼일PWC, 2021)

◎ 수소의 활용<sup>15)</sup>

- (운송 분야) 내연기관의 효율은 약 25% 정도이며, 복합 사이클 가스 터빈은 약 65%의 열효율을 보이는 데 반해, 수소연료전지의 효율은 일반적으로 80%~90% 수준을 유지
  - (수소승용차) : ('18) 1.8천대 → ('22) 8.1만대(내수 6.5만대) → ('40)620만대(내수 290만대)
    - 수소승용차 국내 보급은 '17년까지 누적 177대(신규 51대)에서 '18년 누적 889대(712대)로 대폭 확대하였고, '19년에는 신규만 4,000대 이상을 보급할 계획 - 2025년까지 年 10만 대의 상업적 양산체계를 구축하여 수소차 가격을 내연기관차 수준으로 하락
    - 2022년까지 핵심부품(막전극접합체, 기체확산층 등) 국산화율 100% 달성

15) 수소경제 활성화 로드맵(2019)과 밝아오는 그린수소의 미래(삼일PWC, 2021)의 내용을 기반으로 작성

- 수소버스 : ('19) 35대 → ('22) 2,000대 → ('40) 4만대
    - 2019년 7개 주요 도시에 35대 보급사업을 시작하고, 경찰버스 등 공공부문 버스를 수소버스로 전환
  - 수소택시 : ('19) 시범사업 → ('21) 주요 대도시 보급 → ('40) 8만대
    - 2019년 서울에서 10대의 수소택시 시범사업을 추진하고, 2030년까지 내구성(현재 20만km 내외)을 50만km 이상으로 향상
  - 수소트럭 : ('20) 개발·실증 → ('21) 공공부문 보급 → ('40) 3만대
    - 2021년부터 공공부문의 쓰레기수거차, 청소차, 살수차 등에 적용하고, 물류 등 민간 영역까지 단계적으로 확대
- (에너지 분야) 에너지 분야의 수소 수요는 발전용과 가정용으로 나눌 수 있으며, 수소경제 활성화 로드맵에서는 2040년까지 발전용 연료전지 15GW(내수 8GW) 보급할 목표를 제시함
- 발전용 연료전지 : ('18) 307.6MW → ('22) 1.5GW(내수 1GW) → ('40) 15GW(내수 8GW)
    - 2022년까지 국내 1GW 보급으로 규모의 경제 달성 → 2025년까지 중소형 LNG 발전과 대등한 수준으로 발전단가 하락 → 중장기적으로 설치비 65%, 발전단가 50% 수준 하락
  - '40년까지 가정·건물용 연료전지 2.1GW(94만 가구) 보급
    - 가정·건물용 연료전지 : ('18) 5MW → ('22) 50MW → ('40) 2.1GW- 설치장소, 사용유형별 특징을 고려한 다양한 모델을 출시하고, 공공기관, 민간 신축 건물에 연료전지 의무화를 검토
- (화학 분야) 화학산업의 수소 수요는 암모니아와 메탄올 시장의 성장에 힘입어, 2018년 4,300만 톤에서 2050년 약 1억 2,000만 톤으로 증가할 것으로 전망
- 화학산업의 수소 수요는 암모니아와 메탄올 시장의 성장에 힘입어, 2018년 4,300만 톤에서 2050년 약 1억 2,000만 톤으로 증가할 것으로 전망
  - 2030년경에는 그린수소 에너지의 생산비용이 더욱 저렴해지면서, 다수의 암모니아 및 메탄올 신규 생산설비가 그린수소 방식으로 전환될 것이며, 이에 따라 그린수소의 수요는 2050년까지 최대 5,500만 톤으로 증가할 것으로 예상
- (철강 분야) 기후 온난화 대응 정책으로 전 세계 주요 철강기업 들은 기존의 생산방식에서 친환경적인 공정으로 전환할 것으로 예상되며, 여기에는 수소를 환원제로 사용하는 직접 환원철(Direct Reduced Iron, DRI)이 포함
- 2050년까지 전 세계 1차 철강의 연간 생산량은 약 15억 톤에 이를 것이며, 이 중 약 1/3은 DRI 방식을 통해 제조될 것으로 전망
  - 철강 생산방식의 변화에 기인한 그린수소 수요는 2050년까지 잠재적으로 약 1,000만 톤으로 증가

[ 수소경제 활성화 로드맵 ]

구 분		2018년	2022년	2040년
활용	수소차	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 (290만대)
	승용차	1.8천대 (0.9천대)	< ~ 2022 > 핵심부품 100% 국산화 年 생산량 3.5만대	< 2030 > 순 차종 생산라인 구축
	버스	2대	2천대	6만대 (4만대)
	택시	-	< 2019 > 10대 시험사업	< 2021 > 주요 대도시 적용
	트럭	-	5톤 트럭 출시	10톤 트럭
	수소충전소	14개소 (1,000만원/kg)	310개소	1,200개소
	선박, 열차, 드론, 기계 등		R&D 및 실증	'30년까지 상용화 및 수출
	연료전지			
	발전용	307MW	< 2019 > 전용 LNG 요금제 신설	< 2022 > 설치비 380만원/kW
	가정·건물용	7MW	설치비 1,700만원/kW	50MW
수소가스터빈		R&D	실증	
수소공급	수소공급량	13만톤/年	47만톤/年	526만톤/年
생산방식	화석연료 기반 부생수소 추출수소	수요처 인근 대규모 생산	수전해 활용	수전해 수소의 대용량 장기 저장 기술개발
수소가격	-	6,000원/kg (現 휘발유의 50%)	4,000원/kg	3,000원/kg

\* 출처: 수소경제 활성화 로드맵(2019)

### 3 P2G 관련 기술 현황

#### ◎ 수전해 기술

##### 알칼라인 수전해(alkaline water, ALK) 방식

- 가장 기본적인 수전해 기술로서 성숙도가 가장 높으며, 아직은 규모가 매우 작은 그린수소 시장의 약 70%를 차지
- 알칼리 용액 전해질로 하며, 양극과 음극 사이에 일정 수준의 전압과 전류를 흘려보내면, 산화 반응을 통해 산소와 수소가 발생하는 가장 간단한 구조의 수전해 기술
- 시스템이 안정적이며 촉매로 니켈, 스테인리스강 등 가격경쟁력이 있는 소재를 사용하며 설비 수명이 길다는 장점
- 전류 밀도가 낮고 수소의 순도 역시 다른 수전해 방식보다 상대적으로 낮다는 점, 그리고 시동에 걸리는 시간이 길고 지속적인 운영을 하지 않으면 부하 조건에 따라 작동불능 상태가 야기된다는 등의 단점

##### 고분자 전해질막 수전해(polymer electrolyte membrane, PEM) 방식

- 그린수소 시장의 약 30%를 차지하며, 대부분의 전해조 생산업체가 채택하는 기술
- 고분자 전해법은 알칼라인 수전해 방식과 달리 고압에서 구동할 수 있으며, 고분자 전해질막을 전해질로 활용
- 전류 밀도가 매우 높고 시동에 걸리는 시간도 10초 이내로 짧아 유연성이 있고, 수소의 순도도 매우 높다는 장점이 있음
- 알칼라인에 비해 상대적으로 높은 비용과 낮은 내구성이 단점

##### 고체산화물 수전해(Solid Oxide Electrolysis Cell, SOEC) 방식

- 세라믹과 같은 이온전도성 고체산화물을 전해질로 사용하여 수증기를 분해하는 수전해 기술
- 고체산화물 전기 분해 셀을 이용하는 수전해 방식으로 아직 R&D 단계에 있는 이 기술은 효율성이 높고 생산단가가 저렴하지만, 장시간의 기동시간이 필요하며, 운영 수명이 짧은 것이 단점
- 더욱 많은 개발이 진행되면 수전해 시설과 연료전지의 역할을 동시에 수행하면서 높은 효율을 보일 것으로 기대 중

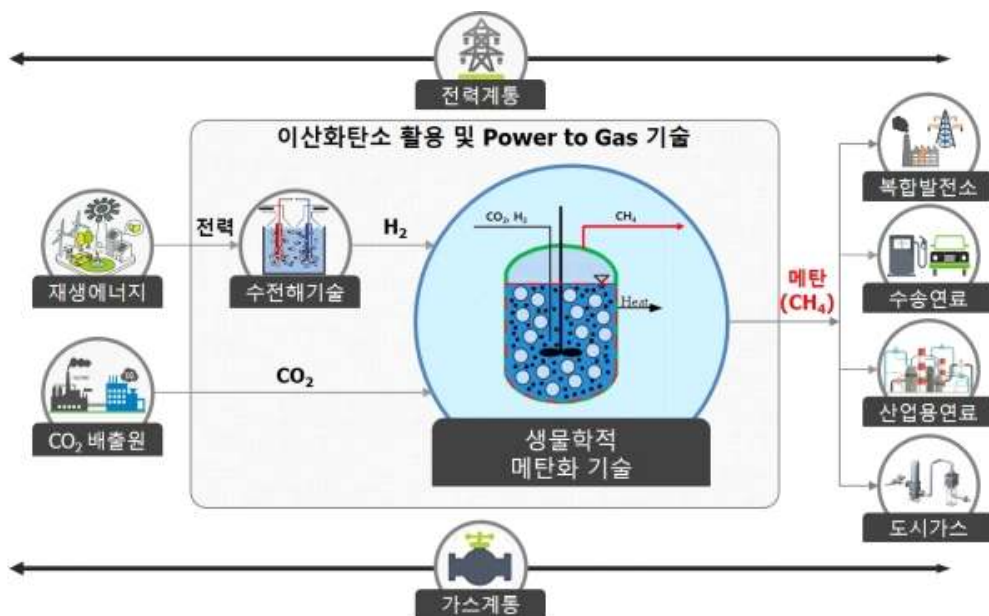
##### 국내 중소기업도 수전해 관련 기술을 개발하기 위해 노력을 진행 중

- (엘켄텍) 재생에너지 연계형 고성능 1MW급 단일 스택 PEM 전기 분해 장치 개발을 진행 중
- (유에너지) 수전해 스택 제작을 위한 탄소 복합소재 기술개발을 진행 중
- (루시투엔) 고효율·고내구성 제로갭 알칼라인 수전해 핵심 원천기술 개발을 진행 중

◎ 메탄화 기술

- 수소를 메탄화해 이용할 때는 기존에 구축되어있는 도시가스 인프라를 활용할 수 있어 수소를 직접 이용할 때 발생하는 저장·이송 비용 증가의 문제점을 해소하는 것이 가능
  - 통상적으로 메탄의 수송비용은 수소 수송비용의 1/10 정도로 알려져 있고 필요한 이산화탄소는 발전소 등 산업체에서 포집하거나 바이오플랜트 등에서 발생하는 이산화탄소를 직접 활용
  
- 생산된 수소를 대표적인 온실가스 물질인 이산화탄소와 반응시켜 메탄(CH<sub>4</sub>)을 생산하여 연료로 활용하는 탄소 중립적인 에너지 시스템을 만들기 위해서는 발전 부분뿐만 아니라 난방용 천연가스를 탄소 중립적으로 만드는 것이 필수적
  - 이미 포집된 이산화탄소를 재활용하여 메탄을 만드는 수소 메탄화 기술은 경제성을 떠나 정책적으로 반드시 개발이 필요한 기술이지만, 아직 초기 단계로 중소기업의 기술개발은 매우 부족
  
- 메탄화 기술은 이산화탄소와 수소를 반응시키는 촉매의 종류에 따라 니켈 기반의 고체 촉매를 사용하는 열화학적 메탄화 기술과 미생물을 이용하는 생물학적 메탄화 기술로 구분
  - 열화학적 메탄화 기술은 높은 운전 압력(20~30기압) 및 온도(300~550℃)로 반응속도가 빠르고 기존의 기반산업과 타 분야 촉매 기술을 활용하기 쉽다는 점에서 기술 성숙도 및 조기 대용량화에 따른 상용화 가능성
  - 생물학적 메탄화 기술은 이산화탄소와 수소 반응을 위해 메탄을 생산하는 미생물을 촉매로 활용하는 기술로 열화학적 메탄화 기술 대비 상대적으로 낮은 운전 압력과 온도(20~70℃) 등의 운전 특성으로 인해 에너지효율이 높고, 지속적으로 증식하는 미생물의 특성상 장기 운전에 성능 및 수명 저하 문제 측면에서도 장점

[ 이산화탄소의 생물학적 메탄화 공정 개념도 ]



\* 출처: 신재생 기술 선도하는 한전 전력연구원(에너지신문, 2022.03.06.)

## ◎ 수소저장 기술

### 고압수소 저장 기술

- 현재 우리나라에서 활용하는 대표적인 저장 기술로 고압 탱크를 활용하여 수소를 저장
- 해외에서는 지층을 활용한 지하공간을 대규모의 고압 수소 저장 시설로 활용

### 액화수소 저장 기술

- 상압에서 높은 밀도를 유지할 수 있는 액화수소는 고압수소 저장과 더불어 상업적 적용 가능성이 큰 수소저장 수단
  - 액화수소는 LNG의 형태로 거래되는 천연가스와 유사한 형태로 장거리 수송에 활용 가능
  - 수소 액화 공정을 상업화하기 위해 극복해야 할 가장 과제는 액화 단계에서의 에너지 소모량을 낮추는 것
- ※ 액화 단계의 에너지 소모량은 생산된 수소가 지닌 총에너지량의 1/3 수준임. - 일본 등에서 수출입을 위해 상용화 추진 중

### 액상수소 저장 기술

- 수소를 액상 유기 수소 운반체(Liquid organic hydrogen carriers, LOHC)와 암모니아로 대표되는 다른 형태의 액상으로 변환하여 운반하는 것
- 액상 유기 수소 운반체는 휘발유와 유사한 형태로 액상 상태로 현존하는 인프라 사용하여 저장과 운반을 할 수 있고 수소를 질소와 결합하여 생성되는 암모니아는 수소를 분리하여 사용할 수 있으면서도, 암모니아의 형태도 직접 연소도 가능
- 탈수소 과정에서 수소와 질소로 분리되어 별도의 매개체가 필요하지 않아 수소 활용지역으로 단방향의 운송이 가능
- 운반체에 수소를 결합하고 분리하는 과정에서 높은 에너지 소모를 보이며, 운반체의 내구성이 존재하는 단점이 존재
- 자극적인 냄새와 독성으로 전문적인 처리가 필요하며, 연료전지에서 사용할 수 있는 고순도의 수소로 전환하기 위해 별도의 정제과정이 필요

### 고체수소 저장 기술

- 물리적으로 결합하여 저장함으로써 배터리처럼 사용이 가능 - 에너지 저장 여부에 상관없이 일정한 부피와 무게의 고체 저장설비가 필요하다는 특성 역시 배터리와 유사
- 배터리는 화재의 위험 등으로 안정성에 대한 이슈가 존재하는지 만 고체 수소 저장 기술은 상대적으로 안정성을 확보

## 4 P2G 실증 프로젝트

- 재생에너지 확대에 따른 계통 안정화 및 그린수소 생산을 위해 유럽을 중심으로 다양한 P2G 프로젝트가 수행 중
  - 수력과 풍력 등의 재생에너지 자원이 풍부한 유럽을 중심으로 P2G 프로젝트가 활발하게 진행되고, 독일이 77건으로 압도적으로 많은 수의 프로젝트를 진행 중이며 덴마크, 영국, 스위스 등 유럽국가가 주도
  - 수행 중인 181건의 P2G 프로젝트 중 수소가 88건, 메탄이 77건이었으며, 2010 년경 초기 단계에는 1MW 미만의 규모로 실증을 시작하였고 2020년 네덜란드에서 12MW급 P2G 프로젝트를 수행 중
  - 이러한 P2G 프로젝트들은 수전해의 경제성 확보를 위해 규모를 확대하고 시스템 전류밀도 및 압력을 높여 효율 향상을 목표로 하는 공통점

[ 국가별 P2G 프로젝트 현황(2020년 기준) ]



\* 출처: 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구(이태의, 에너지경제연구원, 2020.12)

- 대표적 프로젝트로는 NEPTUNE, QualyGridS 등이 있음
  - (NEPTUNE) 2018년 2월 1일에 시작되어 3년간 진행되는 NEPTUNE 프로젝트는 기존 PEM 장치에 비해 수소 압력을 100bar, 운전 전류 밀도를 4A/cm<sup>2</sup>로 높이기 위해 PEM의 전극, 멤브레인, 스택 및 시스템 등 전반적 수준에서 혁신적 솔루션 개발을 목표로 진행 중
    - 이 프로젝트에는 영국의 ITM power(PEM 수전해), 프랑스의 Engie(수소활용)와 Solvay(분리막 소재) 등이 참여
    - 48kW의 정격 용량 하에서 하루 23kg의 수소를 생산함으로써 성능 및 효율을 검증할 계획으로 전해액의 투자비 및 운영비를 줄여 향후 PEM 수전해의 경제성 확보에 크게 기여할 목표



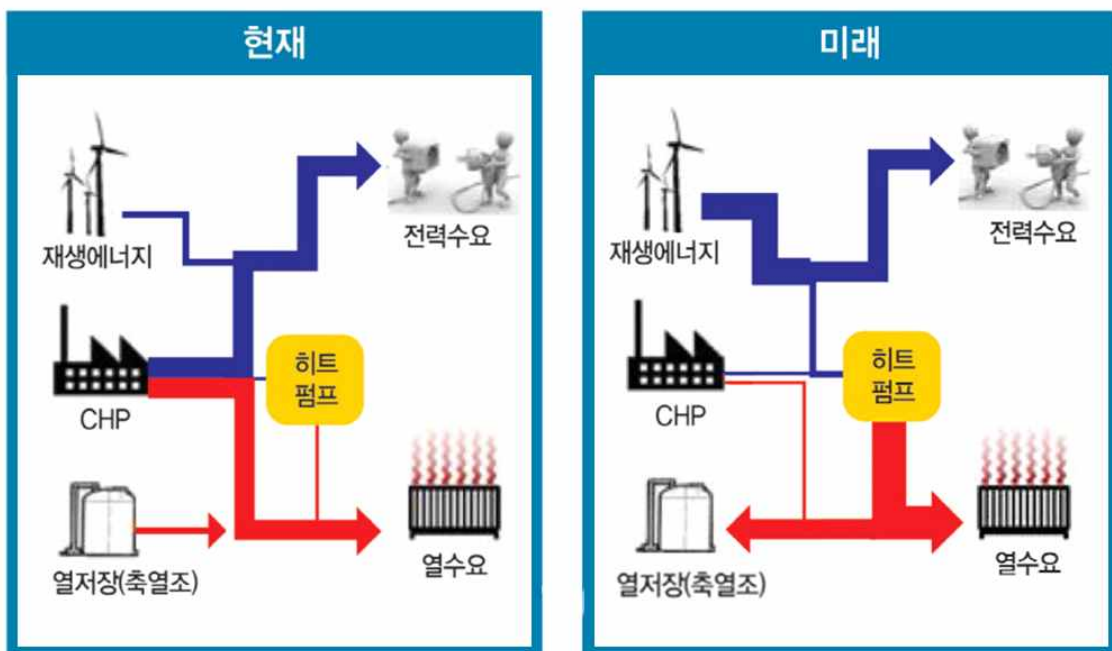
### III. P2H와 P2M

#### 1 P2H 현황

##### ◎ P2H의 개요

- P2H(Power to Heat) 기술은 전력을 열에너지로 전환하는 기술로 재생에너지 잉여전력을 전기보일러·히트펌프 등을 활용하여 열에너지로 전환해 난방사용자에게 공급하거나 저장
  - 재생에너지 잉여전력을 활용하여 저렴한 비용으로 많은 양의 물을 가열할 수 있으며 이때 생산된 열에너지를 시스템에 저장하거나 지역난방 네트워크를 사용하여 순환시킴으로써 냉난방에 효과적으로 활용
  - P2H 기술은 다른 전력 계통 안정화 기술에 비해 상대적으로 기술적 장벽이 낮을 뿐만 아니라 경제성이 뛰어나다는 장점
  - P2H는 다른 에너지 저장 방법에 비해 건설비가 저렴하며 전기에서 열로 변화하는 효율도 약 98%로 매우 뛰어나서 대용량의 에너지를 장기간 저장할 수 있다는 장점이 있으나, 난방 역시 수요 변동성이 크다는 단점을 가지고 있음

##### [ 재생에너지와 CHP<sup>18)</sup> 통합운영 사례 ]



\* 출처: 신재생 약점, 집단에너지가 상당부분 커버(이투뉴스, 2019.11.18.)

18) 복합 열병합 발전(CHP, Combined Heat & Power)

- P2H(Power-to-Heat)는 기술개발 정도 및 인프라 활용 측면에서 지역난방과 연계하여 빠르게 적용할 수 있다는 장점이 있어 유럽에선 상당 부분 상용화 진행 중
  - 유럽에서는 P2H의 기술개발 및 실증 적용 프로젝트가 활발히 진행 중이며, 국내에서도 제주를 중심으로 P2H의 기술 적용을 촉진하기 위하여 연구가 최근 진행 중
  - 유럽에서 지역난방 시스템은 재생에너지의 잉여전력을 수용할 수 있는 P2H의 핵심 요소로 다루어지며, 이는 재생에너지의 출력제한을 지역난방 시스템을 이용하여 P2H로 열 전환이 가능하기 때문

### ◎ P2H의 글로벌 현황

- 유럽의 경우 수급에 의해 전력시장 계통한계가격(System Marginal Price, SMP)이 저렴한 시간대에 전기보일러를 활용해 전력을 생산
  - 이미 대규모 집단에너지에 적용이 적합한 전극 보일러가 상용화돼 있고, P2H 사업이 가능한 제도 (실시간 시장) 및 설비(전극 보일러)가 갖춰져 사업에 적용 중
- 독일의 '열병합발전법'을 제정해 CHP의 전력 생산 비중을 2023년 25%까지 확대하겠다는 계획을 추진
  - ELWA사는 1.4MW의 전기가열기 및 제어기 8개 2세트(11MW×2)로 구성하고 있고, 가열기는 교체할 수 있으며 모듈식으로 증설 시 확장이 가능한 것이 특징
  - 스위스 VAPEC사는 독일 뉘른싱 에너지 시장에 70MW의 뉘른싱 전력을 공급하고 있으며 태양 및 풍력 잉여전력을 열로 변환해 지역난방 공급에 사용하는 중
- 주한덴마크대사관 자료에 따르면 덴마크 전원 믹스 현황은 지난 2019년 기준 재생에너지가 78.9%로 1위인 국가
  - 기타 석탄 11.2%, 천연가스 6.4% 등이며, 특히 난방 수요의 약 70%, 전력 수요의 약 50%를 CHP에서 얻고 있음
  - 건물의 60%가 지역난방 시스템으로 운영되는 상황에서 일찍이 P2H를 활용한 전기보일러 시스템을 확보하여 전력 계통의 균형과 유연성을 확보했음
- 노르웨이 PARAT사는 고전압 전극 보일러로 최대 60MW 생산, 로컬 및 원격제어가 가능하며 최대 60MW로 5분 이내 최대부하까지 도달 가능
  - 1920년 전극 보일러를 개발, 전력 계통 수급 조정용 전기보일러를 최초 생산

◎ P2H의 국내 현황<sup>19)</sup>

- 한국지역난방공사는 지난 2017년부터 재생에너지의 잉여전력을 집단에너지용 열에너지로 변환하는 P2H 도입을 위한 준비를 진행 중
  - 한국지역난방공사는 전력시장 가격신호에 따라 잉여전력을 이용해 열로 변환하며 재생에너지와 집단에너지의 유연성 향상을 위한 전기보일러 제어 기술이 개발하고 열병합 발전에 전기보일러를 결합해 다양한 운전모드를 활용할 수 있는 기술을 도입
    - 전기보일러는 가스보일러 대비 효율은 9% 우위를 점하며 중량은 가스보일러에 비해 13% 수준, 공사 면적 역시 13% 수준
  - 한국지역난방공사는 P2H를 CHP 경직성 대응, P2H 단독운전 모드, 대규모 재생에너지 단지 중심 P2H 활용 집단에너지사업 등으로 활용할 방침
    - 열 제약 발전 시 거래소 에너지관리시스템(EMS)에서 보낸 신호를 P2H설비에 직접 연결해 경제급전(AGC)에 응동하게 하며 CHP 없이 P2H 단독으로 운전해 재생에너지의 잉여전력 발생 시 전력 수요를 증가시켜 재생에너지 출력제한을 완화
    - 또한 A지사와 B지사 간 열 교환으로 손실이 발생할 때 이에 대한 보상용으로 P2H를 사용할 수 있도록 운영
  - 플러스 수요반응자원인 P2H 도입 시 경제성도 고려할 필요
    - 기존 DR과 달리 약속한 시각(09~18시)에 전기를 사용하면 정산금을 받는 제도로 공급이 넘칠 때 소비를 하도록 해 과잉 공급을 해소하고 이때 전기를 쓰면 쓸수록 더 많은 보상을 받을 수 있도록 하는 방법 등을 활용하면 한전 수전용 경부하 전력 요금을 적용한다면 가스보일러 대비 생산단가는 경제성이 있음

[ 제주에너지공사의 P2H 기술개발 개요 ]

<p><b>01 친환경 멀티소스 열원하이브리드 시스템 개발</b></p> <p>공기열, 수열 등 2종 이상의 열원을 이용하여 높은 효율로 재생에너지 전기에너지를 열에너지로 변환하고 다양한 소비처에 공급·관리하는 기술</p>  <p>제주대학교산학협력단 <b>INTERTECH</b> 한화에너지</p>	<p><b>02 P2H기반, 고효율 열생산 및 저장 기술개발</b></p> <p>출력제한에 따른 잉여 전기에너지를 히트펌프 및 전기히터 등을 이용하여 열에너지로 변환시켜 저장하는 기술</p>  <p>한국에너지기술연구원 <b>INTERTECH</b></p>
<p><b>03 P2H기반, 열에너지공급 및 소비네트워크 기술개발</b></p> <p>재생에너지 초과전력을 열에너지로 효율적으로 변환하고, 고밀도 축열시스템에 저장 후, 소비자 열수요 변동부하에 효과적으로 분배·공급하는 양방향 열에너지 네트워크 기술</p>  <p>KITECH 제주대학교산학협력단 한화에너지</p>	<p><b>04 출력제한대응 P2H플랫폼 및 표준화 기술 개발</b></p> <p>제주지역 신재생 출력제한 발생시 이를 플러스DR 플랫폼을 통한 운영으로 수요증대를 통해 출력제한 감소시키는 기술</p>  <p>제주에너지공사 ECO KRAIA</p>

\* 출처: 제주에너지공, 출력제한 대응 P2H 기술 개발(kham, 2022.05.01.)

19) 재생E 잉여전력, 열로 활용한다(투데이에너지, 2021.01.22.)

□ 제주 에너지 공사는 산업통상자원부에서 지원하는 P2H 설비 지원 및 시범사업을 진행하면서 제주도의 잉여전력을 효율적인 열에너지로 변환할 수 있는 체계적인 P2H 시스템 도입을 준비

- 재생에너지 출력제한 대응 P2H 시스템 기술 개발의 연구 목표는 변동성 재생에너지 출력제한 및 과전압 해소 등 전력 계통 유연성 제고로 전력 공급의 신뢰성, 안정성 향상 등 전기의 품질을 유지하고 열에너지 중심의 전환-저장-활용 시스템 구축 등 섹터커플링 기술 개발 고도화를 추진하면서 동시에 건물, 상업, 농수산업 부문 섹터커플링기술 도입을 통한 에너지 이용 합리화, 효율화 및 탈탄소화도 추진
- 제주도 탄소중립 실현 및 재생에너지 출력제한을 이용한 P2Heat시스템 개발로 탄소 없는 섬 제주도를 실현하는 한편 전국 1위 재생에너지 경쟁력과 산업 부문별 P2H 연계로 탄소중립 동력화와 국내 확산 모델을 제시하는 것을 목표로 진행
  - 2022년부터 2025년까지 총 106억 원 내외 연구개발비가 지원되는 이번 과제는 시작품 단계에서는 출력제한에 대응하는 플러스 수요 반응 자원 정확성 및 실효성을 위한 플랫폼을 개발하고 경제성 분석 및 수요관리 프로그램 연계 비즈니스 모델을 개발

□ 제주 P2H 시범사업 참여 기업의 현황

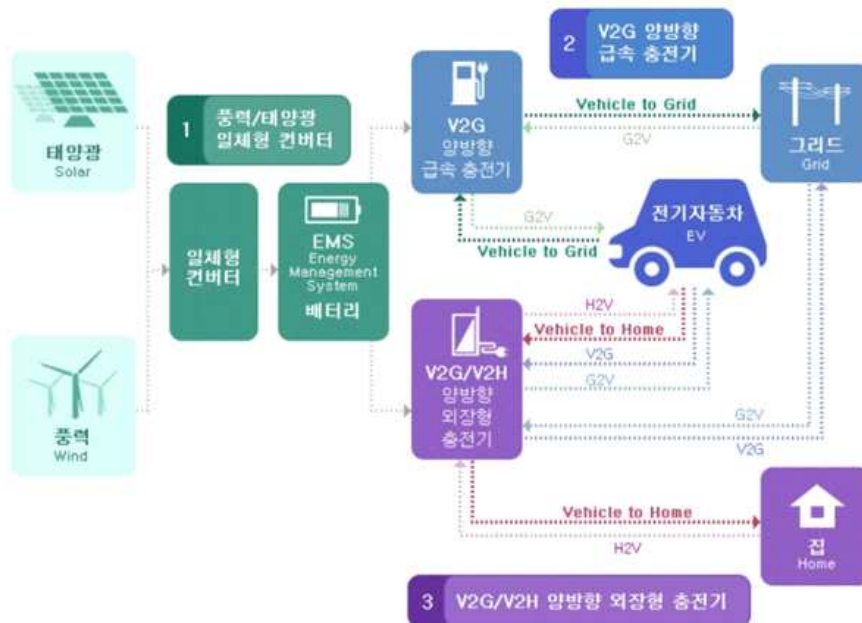
- 제주 에너지 공사는 현재 동북북촌, 행원, 가시리, 김녕, 신창 등 56MW 풍력발전 단지를 운영하고 있으며 P2G, ESS 등 재생에너지 출력제한 완화사업을 추진
- 제주대학교 산학협력단은 열에너지 및 에너지모니터링 선행연구실적을 보유
- 에너지기술연구원은 계간 축열시스템이 포함된 독립형 열 네트워크인 진천 친환경 에너지 타운 구축 및 다수의 실증과제를 수행한 경험이 풍부
- 생산기술 연구원은 예열 연소 부하를 절감하는 배열회수 열에너지저장시스템과 150℃ 이하 저온 열 회수를 위한 열 화학식 복합축열 소재 및 시스템을 개발
- 한화에너지는 신재생에너지 에너지자립률 100%, 태양광·풍력·ESS 및 마이크로그리드 솔루션을 적용해 죽도 에너지 자립 섬 구축을 수행했으며 PV·ESS·EMS·MG 관리 시스템에 대한 전문성을 바탕으로 설계, 분석, O&M 등 에너지 생산 프로세스 전반에 걸친 종합적인 에너지솔루션을 보유
- (중소기업, 인터텍) 인터텍은 온배수 열, 해수 열, 지하수 열 등 수열원 기반 열에너지 및 환경시설제어, 통합관리 전문기업으로 수열원 열에너지 활용 기반 농가시설 온실 냉난방 시스템 설비나 공사는 물론 열에너지 기반 공장 및 건축물, 타운하우스 냉난방 설비 공사 및 ICT기반 에너지모니터링 및 운영제어 기술과 플랫폼 개발 역량을 보유
- (중소기업, 에코브레인) P2H 연계 플러스DR 플랫폼을 개발할 에코브레인은 기상 예측 자료 기반 재생에너지 발전 출력 예측 기술과 전국계통 재생에너지 통합관제 모니터링 시스템을 구축했으며 태양광, 풍력 등 재생에너지 발전사업에 맞춤형 정보를 제공하고 국가 그리드 그린에너지 빅데이터센터를 구축

## 2 V2G(P2M) 현황

### ◎ V2G(P2M)의 개요

- V2G는 Vehicle To Grid로, 자동차에서 전력망으로 전기를 이동하는 것을 의미하는데, 전기차에 저장한 배터리를 에너지저장장치(ESS)처럼 활용해 전력 계통에 연계하는 기술을 의미하고 P2M의 핵심은 V2G이므로 이에 관한 연구가 주로 이루어지는 중
  - V2G 사업자와 수요관리 사업자 등, V2G를 활용하여 피크 절감 효과뿐 아니라 선진국과 같은 전력 계통주파수 조정, 신재생에너지 발판 등 다양한 전력 보조 서비스와 부가가치를 창출할 수 있음
  - V2G 기술은 V2B(Vehicle To Building), V2L(Vehicle To Load), V2H(Vehicle to Home)로 확장할 수 있음
- V2G 시스템은 계통과 전기자동차의 조건을 모두 고려하여 여러 단계를 거쳐 수행되며 크게 배전계통 운영자(DSO, Distribution System Operator), 중개자(Aggregator), 양방향 충전 장치(Bidirectional Charger), 전기자동차(EV, Electric Vehicle)로 구성됨
- V2G 통합 솔루션은 전기차 고객, V2G사업자, 전력망 사업자, 수요자원 시장 운영자 등 다양한 이해관계자의 연계를 수반함

[ 전기차 V2G 통합 솔루션 개념도 ]



\* 출처 : 경북대 V2G 강연자료(SysIn Teck, 2021.06)

## ◎ V2G 관련 주요국 동향

### □ 미국

- 미국 내 델라웨어 대학의 연구기관인 V2G Research Group이 관련 기술의 연구를 오래전부터 추진하며, 기술을 주도하는 것으로 나타남
  - 동 기관은 2010년 7월 오토포트사(AutoPort, Inc.)와 관련 기술의 라이선스 계약을 맺은 것으로 나타났으며, 이 계약을 통해 V2G 기술이 적용된 100대의 전기차를 운영하는 최초의 대규모 시범사업을 진행하였음
  - 이번 시범사업의 또 다른 참여자인 AC 프로펄션사(AC Propulsion, Inc.)의 경우 주요 업체들과 파트너십을 맺고 R&D를 추진함
- V2G 기술의 상용화를 위해서는 배터리 기술의 향상뿐만 아니라 전력망과 전기자동차의 데이터 교환을 위한 통신장비와 IT 기술의 도입(예, Telematics) 등이 부가적으로 접목돼야 할 것으로 판단됨
  - 차세대 자동차 기술 연구에 사용될 재정 마련을 위한 차세대 차량기술 개발법(Advanced Vehicle Technology Act)을 통해 2010년부터 2014년까지 총 28억5,000만 달러 규모의 지원금이 연방 에너지부(US DOE)를 통해 이루어져 V2G 기술개발이 이루어지고 있음
  - 또한, 2009년 12월에 상정된 미국 전기차 제조법(American Electric Vehicle Manufacturing Act)의 도입으로 미 우체국(USPS) 우편 배달 차량의 전기자동차 교체 및 V2G 기능의 전기자동차 2만 대가 도입됨
- 미 정부의 전기자동차 상용화에 필요한 기술연구 분야의 투자는 향후에도 꾸준히 이어지며, 전기자동차 배터리의 활용도를 높일 수 있는 V2G 기술 또한 스마트 그리드를 접목해서 큰 시장으로 부상될 가능성이 있을 것으로 판단됨
- V2G 관련 산업은 기술 라이선스를 통해 실증사업을 추진한 AutoPort와 AC Propulsion 그리고 향후 사업에 참여하는 중소 자동차부품 생산업체들에 의해 기술 개발이 추진됨
  - 지엠(GM), 포드(Ford)와 같은 대형 자동차 업체들은 실증을 통해 입증된 기술을 바탕으로 상용화 및 대중화를 이끌 것으로 전망됨

### □ 덴마크

- 에디슨 프로젝트(Edison Project)를 들 수 있는데, 동 프로젝트에서는 전력망에 부정적 영향을 주지 않도록 V2G 시스템을 이용하면서 총 전력의 50%를 수용할 수 있는 충분한 양의 터빈을 설치한다는 목표를 설정했음
  - 즉, 전기차를 풍력에너지와 연결된 전력망(Grid)과 연계시켜서 전력망이 통제할 수 없는 추가적 풍력에너지를 활용할 수 있는 실험을 한 것임
  - 첨두부하시(peak energy use hours) 혹은 바람의 세기가 약해지는 시간에 상술한 전력망에 연결된 차량에 저장된 전력이 다시 전력망으로 흘러 들어가게 하는 것임
  - 그러한 실험에 참여할 전기차를 보조해주기 위해 덴마크 조세당국은 전통적 가솔린차에는 중과세를 부과하고, 전기차에는 면세(해주거나 아주 극미한 세율을 부과)해주는 조세차별(tax differential)을 실시함
  - 덴마크의 전기차 시장가치는 2020년도에는 3억 8천만 달러의 시장으로 성장할 것으로 예상됨

- 또한, 재생에너지를 사용하는 전기차의 개발 및 활성화로 인해 덴마크는 V2G혁신에 있어서 마켓리더로 자리매김할 것으로 예상됨
- 에디슨 프로젝트 이후 니콜라 프로젝트가 개시
  - 덴마크 기술대(DTU: Technical University of Denmark)의 Risø 캠퍼스에 있는 연구실의 V2G 기술에 집중하는 프로젝트이며 덴마크기술대는 Nuve 그리고 NISSAN과 파트너 관계를 유지하고 있는 곳임
- 니콜라 프로젝트는 2016년에 막을 내렸으며, V2G를 실생활에 적용하는 파카프로젝트(Parker Project)로 이어졌음
  - 파커 프로젝트는 DTU, Insero, Nuve, Nissan 등과 합작으로 진행되었음
  - 기술 개발 이외에도 동 프로젝트는 과부하방지(Overload Protection), 피크 부하저감(Peak Shaving) 등 V2G의 여타 타입의 비즈니스 모델 및 관련 위탁생산(OEMs)과 V2G 기술을 통합시키는 시도를 하고 있음
  - 파카프로젝트는 2016년 8월에 시작하여 2년간 진행될 예정이며, 차후에 다른 프로젝트로 이어질 계획임

#### □ 영국

- 영국의 V2G 시장은 점차 큰 비중을 차지하고 있는 스마트 그리드와 전기자동차의 대량생산에 의해 더욱 활성화될 것으로 예상됨
- 그 전략안에는 실시간 전기요금 정보를 제공하는 전력 관리 장치인 스마트미터기를 포함하며, 이유는 대부분의 V2G 활용할 수 있는 전기차가 대형의 전력망에 이용되기 위해서 스마트미터기가 있어야 하기 때문임
- “런던으로의 전기배달 계획”(Electric Delivery Plan for London)에 따르면 2020년에 영국, 런던의 모든 가정에 대략 1.7백만의 전기차에 스마트미터기가 설치될 계획을 명시하고 있음

#### □ 일본

- 일본의 V2G 기술개발 현황을 보면, V2G의 일종인 V2H(Vehicle to Home)에 더욱 집중하고 있는 경향을 보임
- 일본 총에너지의 10%를 재생에너지로 대체한다는 2030년도의 목표를 달성하기 위해서 현재의 전력망 인프라를 업그레이드하는 데 711억 달러의 예산을 투입하고 있음
- 일본의 전기차 충전 인프라 시장은 2015년의 1억천 8백만 달러에서 2020년의 12억 달러로 확대
- 2012년에 일본의 전기차회사인 NISSAN은 자사의 전기차종인 LEAF에 장착할 수 있는 키트를 시장에 출시했는데 이 키트를 차에 장착하면 전기차가 가정으로 전력을 공급할 수 있게 됨
- 일본 가정의 하루 전력 소비량은 10kWh~20kWh며 LEAF의 24kWh 배터리 용량으로 상술한 키트(KIT)를 활용하면 일본 평균 가구에 이틀 치의 전력을 공급할 수 있게 됨

◎ V2G 관련 국내 동향

- V2G 기술 개발은 과거 제주 스마트 그리드 실증사업을 통하여 구현과 실증을 이미 완료한 상태이긴 하지만 V2G를 시행하기 위해서는 해결해야 할 과제들이 있음
  - V2G를 시행하기 위해서는 전력 수요관리 시장과 대규모의 전기차 보급, 전기차에 양방향 온보드 차저(On Board Charger: 교류를 직류로 변환시켜 주는 전력변환 장치) 장착, 국제 표준이 적용된 충전기 개발 등이 필요하고, 또한 지금까지 높은 배터리 가격도 여전한 문제점으로 남아있음
  
- 산업부는 최근 V2G 관련하여 다양한 시범사업을 진행하게 해 왔음
  - 광주과학기술원과 서울대학교 캠퍼스를 테스트베드로 선정하고 10대의 전기차와 충전과 방전을 할 수 있는 V2G 설비를 구축한 후 대학 캠퍼스 건물의 피크 전력을 줄여서 전기요금을 절감하는 실증사업을 벌이고 있음
  - 여기에는 전기차 제작사와 양방향 급속충전기를 만드는 기업뿐 아니라 전력망을 운영하는 전력공기업도 함께 참여하여 차량 이용 패턴을 분석하고 이와 함께 경제적인 V2G 운용 방안도 만들어 내고 있음
  
- 한국전력공사가 2017년부터 부산에서 전국 최초로 첨단 전력 공급 기술인 'V2H(Vehicle to Home)'를 도입해 정전에도 전력을 공급할 수 있는 업무용 전기자동차를 운용함
  - 한국전력공사 부산울산지역본부는 현대자동차와 함께 'EV 비상 전력공급장치(EV-EPS)'를 개발해 테스트를 거쳐 시범 사용을 시작함
  - 전기자동차에 EV-EPS를 설치하면 정전 발생 때 저압 전기자동차의 배터리를 표준전력으로 바꾼 뒤 긴급 송전 수단으로 사용할 수 있으며 현재 한전 부울본부는 사내 업무용 전기자동차 '아이오닉' 108대를 보유 중인데, 한전은 108대 모두 EV-EPS 설치를 목표로 하고 있음
  
- 양방향 전력 충·방전은 V2G(Vehicle To Grid) 표준 프로토콜이 완료돼야 가능하므로 V2G 표준화가 필요
  - 전기차와 충전 장치 간의 V2G 기술과 연관된 표준은 통신 인터페이스를 정의한 국제 표준 ISO TC22 SC31과 IEC TC69의 Joint Work Group(JWG)에 의해 제정되고 있는 ISO/IEC 15118시리즈(이하 ISO 15118표기) 표준과 전기차 충전소와 전기 자동차를 위한 충전 네트워크 간 통신을 위한 오픈소스 프로토콜인 OCCP(Open Charge Point Protocol), 전기차 충전 및 방전을 위한 인프라 관리를 위한 국제 표준 IEC 63110이 있으며 현재 진행 중
  
- 국내 중소기업도 V2G 관련 기술을 개발하기 위해 노력을 진행 중
  - (산일전기) V2G 전기자동차 충전기 기반의 중소기업 마이크로 그리드 플랫폼 기술개발사업 진행 중
  - (대경엔지니어링) V2G 충전기를 활용한 AI 기반 소비전력 최적 분산 시스템 구축 과제를 진행 중
  - (글로벌드텍) 전기차 자동충전 및 V2G 서비스를 지원하는 지능형 충·방전제어기 개발 진행 중
  - (대영채비) 가상발전소를 위한 20kW급 V2G 전기 자동차 충전기 개발을 완료

## IV. 결론 및 시사점

- 기후 위기 대응을 위한 탄소 저감을 위해 친환경 재생에너지의 확대는 불가피하며, 이로 인한 전력 계통 변동성 증대는 새로운 과제로 등장하였고 이를 위한 대책으로 섹터커플링이 등장
  - 섹터커플링(Sector Coupling)이란 재생에너지 등의 확대에 발생한 발전 부문의 잉여전력을 다른 섹터(열, 가스, 자동차 등)의 에너지와 결합하여 필요할 경우 상호 전환하여 활용하는 기술을 의미하며 넓게는 에너지 생산과 소비 부문의 상호 연결을 의미
  - Power-to-X란 전력(Power)을 다른 형태(X)의 에너지로 변환해 사용하거나 저장하는 방법을 통칭하며 X에 해당하는 변환 에너지 중 Heat(열), Mobility(운송), Gas(가스)가 향후 활용 및 경제성 측면에서 가장 주목받고 있음
- 세계 섹터커플링 시장은 재생에너지 공급 확대에 따라 엄청난 속도로 성장할 것으로 많은 기관이 예측하며, 국내기업에 새로운 기회가 될 수 있음
  - 맥킨지(McKinsey)는 2021년 11월 발표한 산업보고서에서 섹터커플링과 유사한 개념인 장기 에너지 저장 시설(Long-Duration Energy Storage, LDES)이 태생적으로 가변적인 재생에너지를 그리드에 통합하고 에너지 체제의 유연성을 강화하는 데 중요한 역할을 담당할 것이라고 분석
  - Fortune Business Insights는 P2H의 핵심 시장인 세계 열병합 발전 시장 규모는 2021년 149억 8,000만 달러에 달하며, 연평균 6.4%로 성장하여 2029년 238억 달러로 증가할 전망<sup>20)</sup>
  - Emergen Research는 2019년 세계 P2G 시장 규모는 3,280만 달러로 평가되었으며 연평균 10.2%로 성장하여 2027년에는 6,830만 달러에 이를 것으로 예상<sup>21)</sup>
  - Allied Market Research는 2021년 세계 V2G 시장은 17.2억 달러로 추정되며, 25.3%의 성장률로 2031년에는 150.3억 달러까지 성장할 것으로 예측<sup>22)</sup>
- 우리나라도 섹터커플링의 중요성을 인식하고 2020년 신재생에너지 기본계획, 2021년 분산에너지 추진전략 등에서 육성방안을 제시하고 기술개발과 시장 확대를 위한 지원 개시
  - (신재생에너지 기본계획) 연도별 수요초과 공급가능량 전망을 토대로 제주 등 필요지역에 P2X 기술개발·실증을 우선 시행하여 중장기 섹터커플링 확대에 대비하는 등 전략 제시<sup>23)</sup>
  - (분산에너지 추진전략) 출력제어외 재생에너지 잉여전력을 해소하려는 방안으로 부문 간 결합(Sector-Coupling) 방식 개발, 상용화 추진 등 전략 제시
  - (P2G 실증 사업) 국내에서는 2017년 제주 상명풍력단지에서 500kW급 수전해 기술개발 및 실증사업을 수행한 것을 시작으로 1MW급(울산), 2MW급(동해), 3MW급(제주 행원) 등의 소규모 수전해 실증사업들이 단계적으로 추진 중

20) Combined Heat and Power Market Size(Fortune Business Insights, 2022)

21) Power to Gas Market By Technology (Methanation, Electrolysis), By End-User (Utilities, Commercial, Industrial), Forecasts to 2027(Emergen Research, 2020)

22) Vehicle-To-Grid (V2G) Market to Garner \$15.03 Billion by 2031(Allied Market Research, 2022)

23) 제5차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(산업통상자원부, 2020.12)

- (P2H 실증사업) 한국지역난방공사는 지난 2017년부터 재생에너지의 잉여전력을 집단에너지용 열에너지로 변환하는 P2H 도입을 위한 준비를 진행 중이며, 제주 에너지 공사는 재생에너지 출력제한 대응 P2H 시스템 기술 개발을 2022년부터 진행 중
  - (V2G 실증사업) 한국전력공사 전력연구원은 현대차, SK렌터카 등과 차량과 전력망을 연결하는 V2G 실증사업을 진행 중이며, 현대차는 이를 위해 아이오닉5에 V2G 기능을 탑재했으며, SK렌터카는 실증용 V2G 충전기 10대를 설치하고 전력연구원이 관련 기술과 시스템을 실증 진행
- 섹터커플링의 P2X의 산업화를 위해서는 분야별 서로 다른 여러 장벽이 존재하기 때문에 특성에 맞는 산업 육성과 제도 조성이 필요
- 우선 출력 변동성이 높은 신재생에너지에 대한 실시간 모니터링, 자동·원격제어 시스템 등 종합적인 모니터링 시스템을 구축하고 운영하는 것이 필요
  - 기존의 그리드에 접속된 재생에너지 발전기의 경우, 정보제공 장치가 설치되지 않아 계통운영자의 실시간 모니터링 및 관리가 불가 하는 등 어려움이 존재
  - P2H의 경우 잉여전력을 해소할 역할을 하는 ESS처럼 도입 초기 가동률에 따라 전기요금 할인과 사용요금 저가 책정 등이 필요하다는 의견이 많고, 정부는 경제성 제고를 위한 플러스DR 요금제도 마련, 전력 직접거래 조건 완화, 응동 시 보조 서비스 비용 지급도 검토 중
  - P2H 기술의 경우 새로운 개념이 적용되기는 하였으나 설비와 운용은 기존의 기술이 많이 적용되기 때문에 우리나라의 중소기업이 이미 많이 존재
  - V2G의 경우 전기차를 V2G 시장에 끌어들이기 위해서는 배터리 수명 단축 우려에 대해 현재 전력 요금을 받는 수준으로는 시장 참여에 대한 동기부여가 약하다고 전문가들은 지적
  - 정부는 V2G의 보조 서비스 시장 참여를 위한 시장 운영규칙을 개정하고, V2G 실시간·ToU 요금제, 전용 충·방전 요금제도 등 도입 추진
  - V2G의 경우는 실증사업 등이 시작되고 있어 아직 시장이 형성되지는 못하지만, 충전 인프라 관련 중소기업들에게는 새로운 기회가 될 수 있음
  - P2G의 경우는 생산효율 제고와 대량생산을 통한 생산단가를 낮추는 노력과 대규모 수소저장으로 발생하는 안전에 대한 관리 등이 중요한 이슈
  - P2G의 경우는 상용화를 위한 기술 개발이 시작되고 있어 초기 기술 개발 지원이 잘 이루어질 경우 수전해 설비 관련 중소기업과 수소저장 관련 중소기업의 새로운 먹거리 기회가 될 수 있음

## 참고문헌

1. 분산에너지 활성화 추진전략(산업통상자원부, 2021.06.30.)
2. Net-zero power: Long-duration energy storage for a renewable grid(McKinsey & Company, 2021.11)
3. A Critical Study of Stationary Energy Storage Policies in Australia in an International Context: The Role of Hydrogen and Battery Technologies(Jason Moore, Bahman Shabani, 2016.08)
4. 제9차 전력수급기본계획(산업통상자원부, 2020)
5. 남아도는 전력에 신재생 출력제한 증가... "양수발전 적극 검토해야"(이데일리, 2022.10)
6. [특집] 세계 최고 수소경제 선도국가로(공감, 2021.10.11.)
7. en-former 홈페이지(<https://www.en-former.com/en/electricity-the-new-fuel/>)
8. <http://www.gecos.polimi.it/research-areas/hydrogen-fuel-cells-and-electrochemical-energy-systems/>
9. E-mobility 성장에 따른 석유·전력·신재생에너지 산업 대응 전략 연구(신재생에너지)(에너지경제연구원, 2021.12)
10. P2G 시스템의 핵심, '수소'(조성경, 전기저널, 2021.10.12.)
11. 밝아오는 그린수소의 미래(삼일PWC, 2021)
12. 재생에너지 기반 그린 수소 생산 시스템의 기술 경제성 분석(박정호 외, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 2020)
13. 수소경제 활성화 로드맵(2019)
14. 신재생 기술 선도하는 한전 전력연구원(에너지신문, 2022.03.06.)
15. 재생에너지 변동성 대응을 위한 P2G 활용방안 연구(이태의, 에너지경제연구원, 2020.12)
16. 상업용 수전해 수소생산기지 구축한다(월간수소경제, 2022.06.29.)
17. 신재생 약점, 집단에너지가 상당부분 커버(이투뉴스, 2019.11.18.)
18. 제주에너지공, 출력제한 대응 P2H 기술 개발(kharn, 2022.05.01.)
19. 중소기업전력기술로드맵(중소기업기술정보진흥원, 2021)
20. Combined Heat and Power Market Size(Fortune Business Insights, 2022)

21. Power to Gas Market By Technology (Methanation, Electrolysis), By End-User (Utilities, Commercial, Industrial), Forecasts to 2027(Emergen Research, 2020)
22. Vehicle-To-Grid (V2G) Market to Garner \$15.03 Billion by 2031(Allied Market Research, 2022)
23. 제5차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(산업통상자원부, 2020.12)