보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개( ), 비공개( ) 발간등록번호()

연구단 기획 보고서

수소 시범도시 인프라 구축을 위한 연구개발 연구단 기획보고서

2019. 8. 15

주관연구기관 / 고려대학교

위탁연구기관 / 한국에너지기술연구원

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

사전기획연구 요약

1. 기술의 정의 및 기획의 필요성

□ 기술의 정의

- ㅇ 범위 : 수소에너지 플랫폼을 도시 등의 지역사회 수준에 구현하여 에너지의 생산자와 소비자의 경계가 사라진 프로슈머 개념의 미래 에너지 패러다임의 실현 모델의 제안

- ㅇ 목표 : 도시형 수소 생산-저장-공유 플랫폼의 설계 및 실증을 통해 기존의 에너지 인프라, 도시환경, 수요-공급 관계 등에 능동적으로 대응할 수 있는 수소도시 모델 설계하여 온실가스 및 미세먼지 문제를 궁극적으로 해결할 수 있는 미래 청정 에너지 인프라를 구축하기 위한 실증 연구 및 개발

- ㅇ 수단 : 1) 플러스 에너지 하우스 기반의 도시형 수소 생산-저장-공유 시스템, 2) 커뮤니티 단위의 에너지 통합 네트워크 구축 그리고 3) 수소 에너지 기반의 친환경 도시모델 설계 및 실증기술 개발로 수소경제 실현 모델 및 관련 시스템 기술 개발

- ㅇ 효과 : 세계 선도형 수소 도시 실증 플랫폼 구축을 통하여 완성된 수소 관련 기술의 실증 사이트 제공 및 수소경제의 실현을 위한 도시에 적용 가능한 기술을 구현

□ 기획의 필요성

- ㅇ 지속적으로 온난화에 대한 위험성과 탈탄소의 중요성이 강조되는 시점에서 신재생에너지만을 활용하기에는 기술적, 비용적 부담이 큼

- ㅇ 현재 선진국은 약 20년전부터 수소경제 실현을 위해 로드맵을 구축하고 기술 개발을 시작하였으나, 국내는 비교적 최근 대규모의 투자를 계획함으로서 후발주자의 지휘를 가지게 됨

- 우리나라의 수소 자동차 기술은 세계 최고 수준이나 이의 보급을 위한 관련 인프라 산업(수소 생산, 이송, 저장 등)은 선진국과 격차가 큼

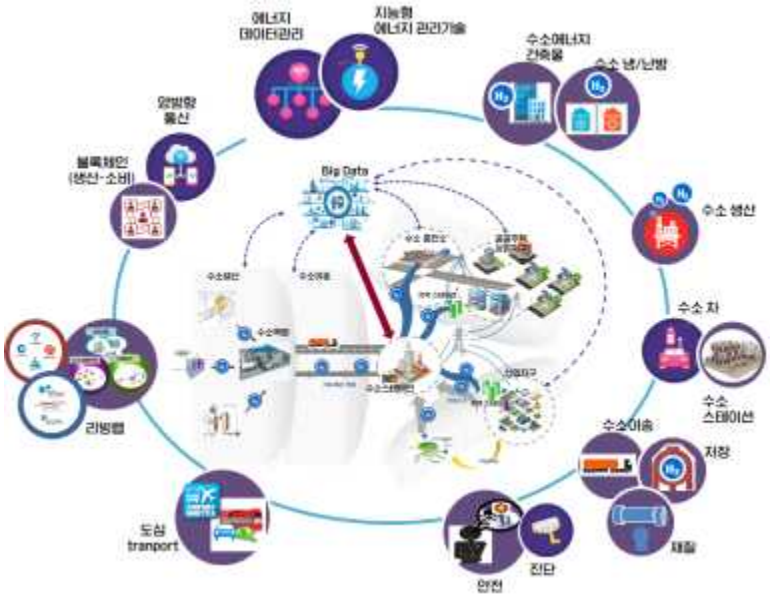
- 이를 극복하기 위한 fast-follow 전략과 기술적 우위성이 있는 분야를 구분함으로써 상황에 맞는 로드맵 구성이 시급한 상황임

○ 개별적인 기술과 함께 **수소경제**라는 생태계를 구성할 수 있어야 하며 이를 도시라는 사회적 공동체에 **수소를 에너지 매개체(carrier)로 에너지의 생산-저장-활용-공유가 가능한 플랫폼을 구축**하는 것이 수소도시의 설계 개념

- 사용자 수용성 : 경제성이 비교적 부족한 수소에너지를 공급하기에는 사용자와의 괴리가 커서 이를 극복하기 어려움. 복지적인 측면에 대한 강조와 이에 대한 사회적 인식도 만족이 가능한 플랜 제시 필요
- 실질적인 산업 생태계 부재 : 사업화 모델 부재로 인하여 경제성 확보가 가능한 시장 창출이 불가능
- 확실한 대안으로서 도시라는 생태계 내 수소에너지의 결합성을 가지는 것은 시너지 효과를 일으킬 수 있음
- **도시에서 구성되는 수소 생태**는 수소에너지 플랫폼을 통해 에너지 생산자와 소비자의 경계가 자연스럽게 허물어지고 에너지의 생산-저장-활용-공유가 ICT 기술과 에너지 인프라 기술의 융합을 통해 달성되어 미래 에너지 패러다임을 구현 할 수 있음

○ 기획연구를 통해 진행 될 연구개발과제의 주요 구성

- **도시형 수소 생산-저장-공유 시스템 설계 및 실증**
- **에너지 통합 네트워크 커뮤니티 구축 및 운영 시스템 설계**
- **수소기반 친환경 도시모델의 설계**



<도시형 수소에너지커뮤니티>

2. 국내외 정책동향 및 환경분석

□ 국내 정책동향

○ 정부의 3대 혁신성장 전략투자(2018.8.13. 기획재정부)인 **수소경제의 조기 구현 모델**로 도시 내 주거·교통·산업 등 전분야에 수소가 적용되는 **수소 시범도시 인프라 기술개발 및 실증**을 위한 신규 지원 필요

- 신재생에너지 패키지 투자모델(수소분야) 중·장·단기 에너지 활용극대화 과제에 포함(단기 : 수소시범도시 플랫폼 개발, 장기 : 수소도시 보급 확대 및 해외수출모델 개발)

- 수소경제 로드맵 관련내용 : 2022년까지 3개 시범도시 구축
  ·(목적) 수소 활용 기술·제품·시스템을 실제 적용한 수소 도시 조성
  ·(구축 전략) 신도시 및 혁신도시, 수소 활용 선도지역 등을 대상으로 수소 시범도시를 조성하고 인프라 구축 지원, 규제특례 등 제공 (규제 샌드박스 1호 : 도심 수소차 충전소 설치)
  ·(구축 일정) 수소시범도시 설계 (2019.6) → 도시별 수소 생산·공급 여건, 수용성 검토(2019.下) → 1기 시범도시 선정(2019.下) → 2기 시범도시 선정(2020.上) ※ 일정 변경 가능

- 2019년 경제정책방향(2018.12, 기재부) : 교통·난방 등 수소기반 시범도시 3개소 조성(~ 2022년)

□ 해외 정책동향

○ 선진국에서는 장기적인 투자를 통해 수소 사회를 구현하고자 계획하고 실현중에 있으나 현재까지 추진 중인 대부분의 수소도시는 수소스테이션을 중심으로 수소자동차 인프라에 집중되어 있음.

- 일본 : 수소타운을 위한 시범도시 실증과 수소고속도로를 통한 수소차 조기 보급
- 미국 : 캘리포니아 주의 수소자동차의 확대 보급을 위한 정책
- 유럽 : 수소 구역에 대한 계획과, MW 단위의 발전설비의 실증

□ 국내외 시장 및 기술동향

○ 국내외 수소 에너지 시장

- 전세계 수소시장의 규모는 2022년까지 1500억달러로 성장할 것으로 예측됨. 이 시장의 대부분은 암모니아 플랜트 및 정유공정에 사용됨.

	일본	미국	유럽
대표 정책	• 4차 에너지 기본계획 • 2020년(도쿄올림픽) 수소사회 진입	• Hydrogen Posture Plan Department of Energy (DOE) • CaFCP(California Fuel Cell Partnership)	• 유럽: FCH JU • 독일: NIP, • 영국: UK H2 Mobility, • 프랑스: H2 Mobility France
배경	• 수소, 연료전지 기술 선도 • 수소전기차 상용화, 보급중 → 수소 수요 확대에 대응	• 세일 혁명에 의한 천연가스 가격 하락 • 천연가스 활용방안 모색 • 석유화학 산업 부활	• 신재생에너지산업 성숙 단계에 진입 • 신재생에너지 잉여전력 활용방안 모색
생산	• 부생수소 활용 (단기) • 해외생산 수소 대량 수입 (중장기)	• 천연가스 개질 방식 확산 • 대규모 풍력단지 중심 생산 • 부생 수소 활용	• 신재생에너지의 잉여전력을 활용한 수소 집중형 대량생산 (Power to Gas)
운송	• 튜브 트레일러 및 수소 파이프 라인 활용 (현재) • 액화수소, 액상수소 기반 운송 (미래)	• 천연가스 배관 활용 • 튜브 트레일러 활용	• 천연가스 그리드 활용 • 수소 파이프라인 활용(북유럽 일부지역)
저장	• 대용량 저장소 구축 • 수소 탱크 활용 (고압방식, 액화수소, 톨루엔 전환 방식)	• CNG충전소 활용(HCNG) • 주유소 연계방식 (수소탱크 활용)	• 열병합 발전소와 연계 • 복합형 클러스터 구축(수소/CNG/전기/열)
정책 특징	• 수소전기차용 수소 충전소 확충 • 가정용/발전용 등 포괄적인 수소산업 시장 창출 추진	• 캘리포니아 주에서 미국 전역으로 확산 • 수소전기차용 수소 충전소 확충	• 신재생에너지 활용 • 가스그리드 활용 • 대용량 수소 저장소 구축 • 수소전기차용 수소 충전소 확충

<수소도시 구축을 위한 선진국 정책 동향>

- 국내 전체 수소시장의 규모는 약 8000억원 수준.연간 160만톤 이상이 산업용으로 생산되며, 대부분 화학플랜트, 석유 정제공정 등에서 소비하고 이중 **22만 톤 정도를 수소 에너지 시장 공급 가능한 양**으로 추측.
- 수소제조 방식별 단가: 현재까지 천연가스 개질이 가장 저렴한 방법으로 알려져 있으며, 공급단가는 배관, 튜브트레일러 등 공급방식과 양에 따라 다르지만, 대략 kg 당 3~6천원 수준.
- 수소 충전소 및 수소연료전지차의 보급은 미국, 일본에 비해 부진한 상황. 현재 충전소는 12기. **2022년까지 수소 충전소 누적 310기 건설과 수소연료전지자동차 1만 5천대 보급을 목표**로 하고 있음.
  - o 제로에너지(또는 플러스에너지) 건물의 보급: 국내에서는 2025년부터 제로에너지건물 의무화를 목표로 추진하고 있으며 이에 따라 제로에너지건물 관련시장이 빠르게 확대될 것으로 전망됨
- 비거주용 건물은 2017년 30%절감, 2020년 60% 절감하고 최종적으로 2025년 제로에너지건물을 의무화하는 정책임
- 2030 에너지신산업 확산전략 (2015년 11월)'을 통해 에너지 프로슈머 및 분산형 청정에너지 중요성이 확대됨
- 에너지 프로슈머 시장 확대에 따라 개인 또는 건물 등에서 직접 생산한

소규모 전력이나 잉여 전력을 팔 수 있는 분산자원 거래시장 확대가 전망되며 이를 통해 플러스에너지 건물도 확산될 전망

<연도별 전 세계 제로에너지건물 시장규모 예측 (Zero Energy Buildings", Navigant Research (2014))>

○ 제로(플러스)에너지건물 시장은 2014년 기준으로 약 6.3억달러 수준의 시장을 형성하고 있으며 이는 주로 유럽을 중심으로 시장이 형성되었음. 향후 20년 이내로 빠른 성장이 예상되며 2035년에는 1.4조원달러 규모로 성장할 것으로 전망하고 기술개발에 따라 경제성도 확보될 것으로 전망

○ 에너지 선진국의 수소도시 및 수소에너지 보급확산 전략 및 정책 현황

- 일본 : 2020년 도쿄올림픽을 기점으로 수소에너지 사회로의 전환 시도. JHFC 및 HySUT 프로그램을 통해 꾸준한 수소에너지 인프라 개발진행, **수소에너지 기반 도시 모델**과 관련하여 **기타큐슈에 제철소 부생가스를 활용한 수소도시의 시범적 모델(부생수소를 수소 스테이션에 공급하고 인근 가구, 공공시설 등에 파이프라인 공급망을 설치하는 수소 공급계획)**을 선보임.
- 미국 : 캘리포니아 주의 수소충전소 및 수소자동차 보급 계획(California Fuel Cell Partnership)으로 대표되는 **수송에너지 중심의 수소에너지 보급정책**.
- 유럽 : 4년 단위 혁신연구 프로그램인 Framework Program(FP)에서 FP2 단계(1986 – 1990년)부터 FCH JU를 거쳐 현재 실행 중인 Horizon 2020의 FCH2 JU (Fuel Cells & Hydrogen Joint-Undertaking) 프로그

램까지 11억 유로 이상의 연구비가 투입됨. 수소 및 연료전지의 시장 보급 및 상용화 촉진을 위해 공공 영역과 회사들의 파트너쉽을 강화하는 프로그램들이 진행 중. **수송, 산업 및 가정용 발전, 에너지 저장 등 에너지 시스템 전 분야를 걸쳐 수소 에너지의 비중을 높이고 수소를 미래 사회의 주요 에너지 플랫폼으로 정의**. 수소연료전지 자동차는 H2Mobility 프로그램으로 보급 확대를 꾀하고 있으며, combined heat and power 시스템을 통한 건물용 연료전지, 그리고 재생에너지 비중의 증가에 따른 유연성 확보를 위한 PtoG 기술 등을 개발 확대하여 수소에너지 기반 사회의 핵심기술을 확보하고 있음.

- 시사점: 에너지 선진국의 수소에너지 인프라 구축을 위한 요소기술 개발이 선제적으로 이루어지고 있음. 일본의 경우, 부생 수소를 활용한 수소에너지 기반 사회의 모델이 제안됨. 그러나 그 활용범위가 매우 제한적이며 개별 기술의 개발위주로 이루어졌고 수송에너지와 관련한 인프라 기술이 주를 이룸. 따라서, **수소를 에너지 플랫폼으로 재생에너지원이나 전통적인 에너지원(도시가스 등)을 주거 모델과 연계하고 수소를 매개로 에너지를 생산, 저장, 공유하는 종합적인 수소 도시 모델을 제안하거나 구현한 사례는 아직 없음**.

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 연구개발과제 구성

○ (1세부) 수소 타운형 수소 공급-활용 및 재생 에너지 믹스 기술 실증

- (목표) 수소 하우스 타운 내 수소기반 에너지 공급-저장-활용 및 재생에너지 연계 통합 시스템 개발 및 실증(신재생에너지 자립률 100% 달성)
- (개발기술)

·재생에너지 연계 수소 생산-저장- 활용 인프라 설계 및 실증
·재생에너지-연료전지 연계 전기 저장 시스템 설계 및 실증
·재생에너지-연료전지 연계 열 저장 시스템 설계 및 실증
·수소생산/저장/활용 시스템에 대한 안전 보강 연구 및 안전 보강시스템 구축

○ (2세부) 수소 에너지 통합 네크워크 및 수소하우스 기술개발

- (목표) 수소 타운 내 생산하는 재생 전기와 연료전지 열에너지 최적화 기술 개발 및 수소하우스 개발, 실증

- (개발기술)

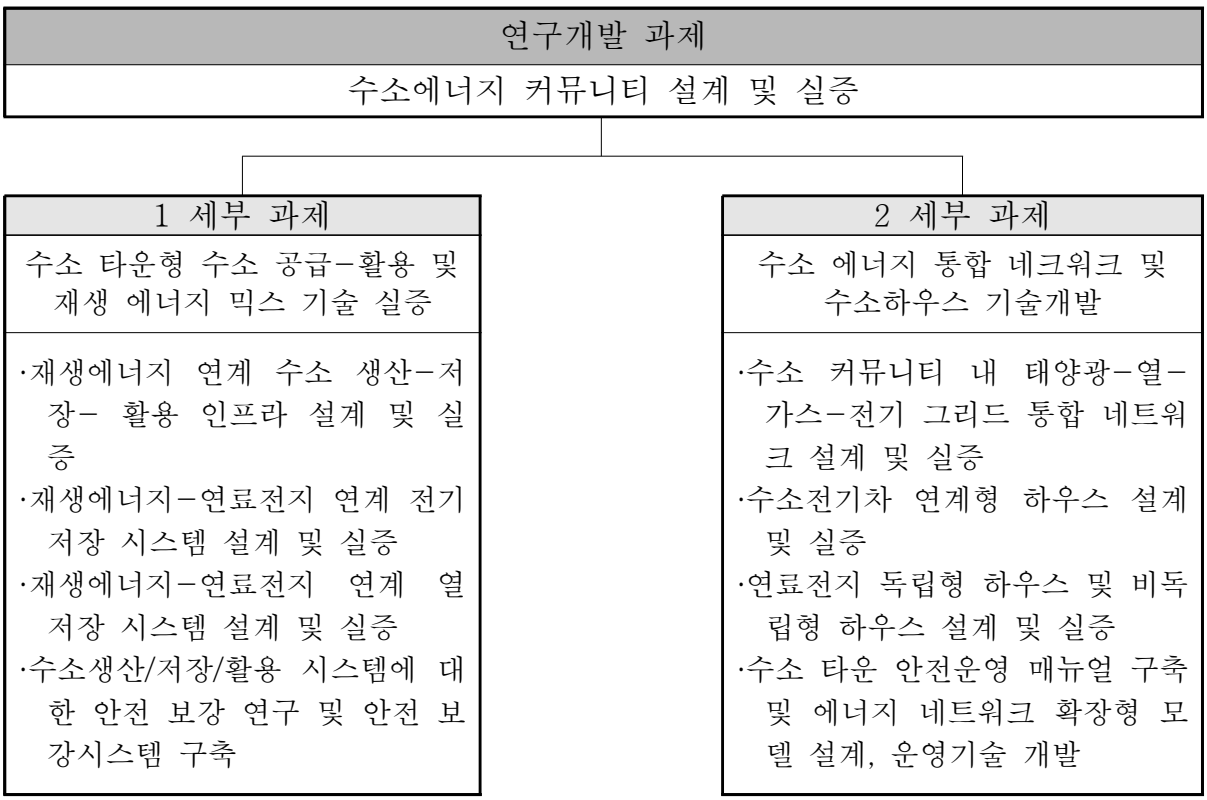
·수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 설계 및 실증

·수소전기차 연계형 하우스 설계 및 실증

·연료전지 독립형 하우스 및 비독립형 하우스 설계 및 실증

·수소 타운 안전운영 매뉴얼 구축 및 에너지 네트워크 확장형 모델 설계, 운영기술 개발

□ 추진전략



□ TRM

1차년도
2차년도
3차년도
4차년도
1 세부
수소타운형 수소 생산 활용 및 재생 에너지 믹스 기술 개발
재생에너지 연계 수소 생산-저장-활용 인프라 설계
제작 완료 및 단품 성능 검증
연계 운전 및 시스템 최적화
실증 및 안전모니터링
재생에너지-연료전지 연계 전기 저장시스템 설계
제작 완료 및 단품 성능 검증
연계 운전 및 시스템 최적화
실증 및 안전모니터링
재생에너지-연료전지 연계 열 저장시스템 설계
제작 완료 및 단품 성능 검증
연계 운전 및 시스템 최적화
실증 및 안전모니터링
2 세부
수소 에너지 통합 네트워크 및 수소하우스 기술개발
수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 설계 및 제작
제작 완료 및 단품 성능 검증
수소 커뮤니티 에너지 공유 네트워크 시운전, 최적 운용 방법 및 네트워크 확장모델 개발
실증 및 안전모니터링
수소전기차 연계형 하우스 설계 및 건설
건축 완료 및 부하변동 에너지 데이터 수집
시간별 전기에너지 공유 방법 최적화 및 실증 착수
실증 및 안전모니터링
연료전지 독립형 하우스 및 부하형 하우스 설계 및 건설
연료전지 독립형, 부하형 하우스 건축 완료 및 부하 데이터 수집
PV-연료전지 연계형 고효율 냉난방/환기 시스템 개발 및 실증
실증 및 안전모니터링

4. 소요예산(안)

○ 과제 총연구비 : 17,326백만원(정부 : 17,326백만원/민간 : 미정)

[백만원]

구 분	총연구비	’20	‘21	‘22	‘23
정부투자 실적·계획	17,326	4,000	5,714	5,691	1,921

○ 세부별 연구비 편성 계획 : 총 2개 세부과제로 구성한 연구단 (1, 2세부 모두 산학연으로 구성)

[백만원]

구 분	총연구비	’20	‘21	‘22	‘23
1세부	8,147	2,021	2,364	2,861	901
2세부	9,179	1,979	3,350	2,830	1,020

*** `23년은 개발된 성과물의 운전 실증으로 연구개발비 감소**

〈 목 차 〉

사전기획연구 요약 ····· i

1. 연구의 필요성 ····· 1
1.1 기술개발 방향 선정 ····· 1
1.1.1 추진배경 ····· 1
1.1.2 기술개발 방향 도출 ····· 2
1.2 기술의 개요 ····· 6
1.2.1 도시형 수소 생산-저장-공유 시스템 기술개발 ····· 7
1.2.2 에너지 통합 네트워크 및 타운하우스 기술개발 ····· 8
1.3 기술개발의 필요성 ····· 11
1.4 기술개발의 시급성 및 중요도 ····· 13

2. 환경 분석 ····· 16
2.1 국내외 기술 개발 동향 ····· 16
2.2 국내외 관련분야 정책동향 ····· 31
2.3 시장동향 ····· 39
2.4 국가정책 부합성 ····· 49

3. 연구개발 목표 및 내용 ····· 54
3.1 연구개발목표 ····· 54
3.2 연구단 구성 및 세부과제 내용 ····· 55

4. 세부추진계획 ····· 57
4.1 세부과제별 추진계획 ····· 57
4.2 세부과제간 기술 연계성 ····· 59
4.3 기술로드맵 ····· 62

5. 정부지원 필요성 ····· 63
5.1 정부정책과의 정합성 ····· 63
5.2 기존 유사사업과의 연계성 및 차별성 ····· 64

6. 기대효과 및 활용 방안 ····· 65
6.1 기획연구 방법의 창의성 및 혁신성 ····· 65
6.2 연구사업단의 창의성 및 혁신성 ····· 67
6.3 기대효과 ····· 69

1. 연구의 필요성

1.1 기술개발 방향 선정

1.1.1 추진 배경

○ 인류가 당면하고 있는 에너지와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 **청정에너지원으로서 수소에너지 대두** 및 **미래 수소사회 대비 필요**

- 2017년 다보스 포럼에서 탄소경제사회를 수소경제사회로 이행하기 위한 '수소위원회(Hydrogen Council)' 신설하여 운영
- 2050년 글로벌 수소경제 규모는 2조5,000억 달러(약 2,670조원), 에너지 수요 비중 18%, 이산화탄소 저감 연간 6Gt(60억톤), 일자리 창출 3천만명으로 전망('17.1, 다보스포럼)
- 미국, EU, 일본 등 수소사회 대비를 위한 지원을 정부주도 및 민관 합동으로 적극 추진 중으로 국가별 경쟁이 치열하나, 아직 초기 단계\

○ **정부의 3대 혁신성장 전략투자**인 **수소경제**의 **조기 구현 모델**로 도시 내 주거·교통·산업 등 전분야에 수소가 적용되는 **수소 시범도시*** 인프라 기술개발 및 실증을 위한 신규 지원 필요(수소경제 로드맵 주요내용**)

* 신재생에너지 **패키지 투자모델**(수소분야) 중 장·단기 **에너지 활용극대화 과제**에 포함
(단기 : 수소시범도시 플랫폼 개발, 장기 : 수소도시 보급 확대 및 해외수출모델 개발)

** **수소경제 로드맵** 관련내용 : 2022년까지 3개 시범도시 구축(55~56쪽)

○ **(목적) 수소 활용 기술·제품·시스템**을 실제 적용한 수소 도시 조성 ○ **(구축 전략) 신도시·혁신도시, 수소 활용 선도지역** 등을 대상으로 **수소 시범도시**를 조성하고 **인프라 구축 지원**, 규제특례 등 제공 – 수소시범도시 설계('19.6) → 도시별 수소 생산·공급 여건, 수용성 검토('19.下) → 1기 시범도시 선정('19.下) → 2기 시범도시 선정('20.上) ※ 일정 변경 가능

*** **2019년 경제정책방향**('18.12, 기재부) : 교통·난방 등 수소기반 **시범도시 3개소 조성** (~ 2022년)

○ **수소 시범도시 적기 구축(2022년)**을 위한 도시 내 **주거**와 관련하여 기존의 에너지와 연계하여 수소가 적용되는 **수소 시범 도시 인프라 기술개발 및 실증 필요**

- 신재생에너지 이용 수소생산, 건물용 연료전지, 전력 및 가스 그리드 등 **도시 내 적용 가능한 에너지기술 융합한 수소 기반 에너지 생산, 저장 및 공유가 이루어지는**

에너지프로슈머 개념의 수소에너지 이용 시스템 설계 및 최적화 연구 필요

- 미래 수소 도시 환경 조성을 위한 **수소 커뮤니티 에너지 믹스(재생에너지, 전력 및 가스 그리드 통합) 통합 네트워크 설계 시스템 개발 필요**
- ICT 등을 활용한 에너지공급시스템 및 운영 계획 등의 최적화를 통한 **수소도시 모델 도출 및 안전성 확보**
- 주민들의 수소에 대한 막연한 거부감 해소를 위하여 수소도시에 시민이 참여하여 생활하는 **리빙랩을 통해 주민의 수용성 제고 및 홍보 효과 극대화** 도모

1.1.2 기술개발 방향 도출

○ 수소경제

- 탈탄소 친환경 에너지패러다임의 정립
- 주거환경에 필요로 하는 전기·열 생산 등 주요한 에너지원이자 수송용 에너지원 등으로 수소를 사용하고 이를 매개로 에너지의 생산, 저장, 공유가 가능한 사회 경제적 시스템
  → 국가경제, 사회, 국민생활 전반에 근본적 변화 초개
- 우리 정부도 2019년 1월 수소경제 활성화 로드맵을 발표하여, '수소경제'를 혁신성장의 새로운 성장동력이면서 친환경 에너지의 원동력으로 인식하고 2040년까지 수소경제 활성화를 위한 큰 정책 방향성과 목표 및 추진전략 등을 수립함

○ 수소도시의 구축

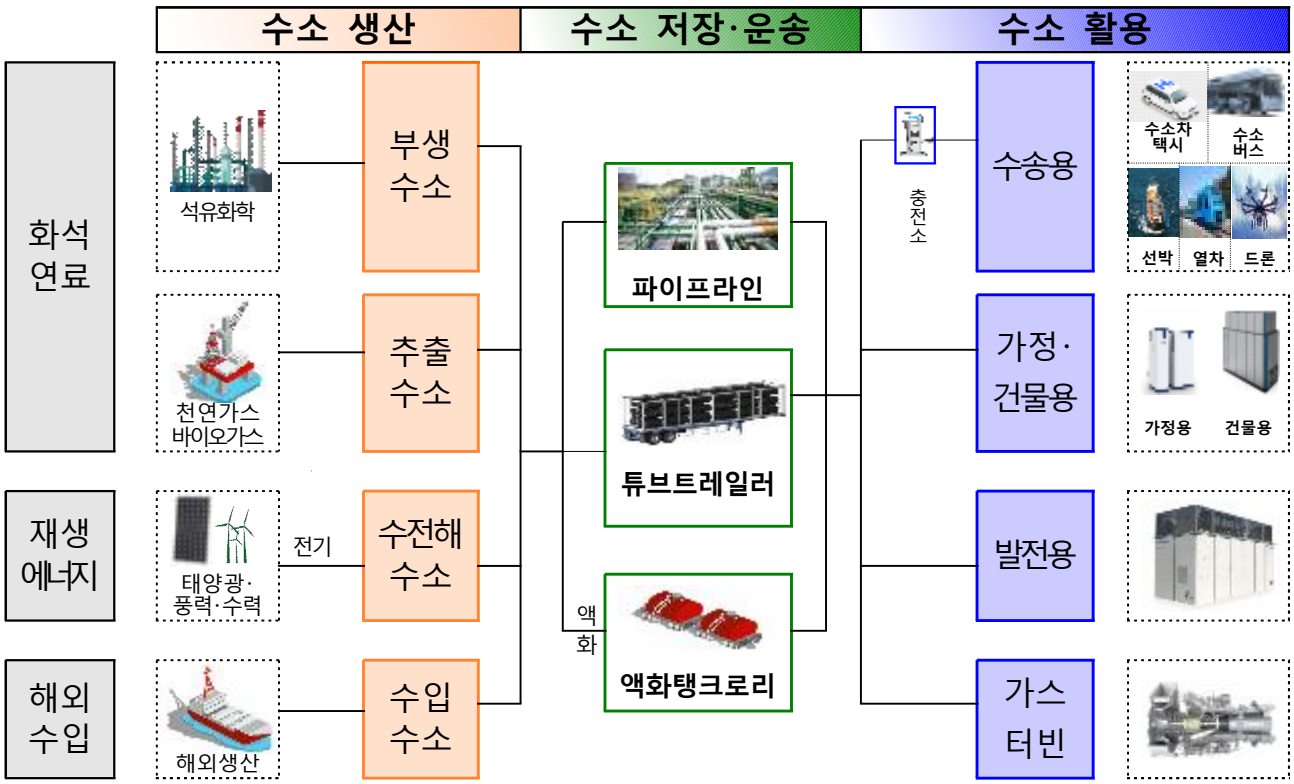
- 수소도시는 수소경제라는 새로운 미래에너지 패러다임이 구현된 미래 청정에너지 기반의 생활 환경
- 우리 정부도 3대 혁신성장 전략투자(2018.8.13. 기획재정부)인 **수소경제의 조기 구현 모델**로 도시 내 주거·교통·산업 등 전분야에 수소가 적용되는 **수소 시범도시 인프라 기술개발 및 실증** 강조
- 수소경제 시대의 수소도시는 과거의 화석연료나 원자력과 같은 에너지 생산자와 소비자가 구분되지 않는 **에너지프로슈머의 개념 도입**

○ 수소경제 시대의 수소도시의 역할

- **재생에너지원 및 기존의 전력/가스 그리드 등을 통합적으로 활용한 에너지 활용 시스템**을 구축하고 에너지 수요에 따라 최적 에너지 포트폴리오를 구축할 수 있는 ICT 기술 기반의 에너지 생태계 구축
- 에너지 매개체(carrier)로서의 수소를 기반으로 **에너지의 생산, 저장, 공유가 이**

루어져 에너지 생산자와 소비자의 경계를 허물고 분산발전의 효율성을 극대화하여 에너지 안보 강화 및 자립화에 기여

- 청정 에너지인 수소 에너지를 바탕으로 온실가스 감축, 미세먼지 저감에 기여하여 **친환경적 도시환경 조성**
- 미래 에너지 패러다임으로의 전환 단계에서 수소 에너지 시스템의 **안전성 확보와 시민들의 수용성**이 중요



새로운 성장동력

- 수소생산, 저장·운송 등 인프라 산업 시장 창출
- 소재·부품·시스템 등 기술개발 및 수요 촉진 등
- 수소차, 연료전지를 미래유망 품목으로 육성

에너지 자립

- 에너지원 다각화
- 해외 의존도 감소
- 재생에너지 이용 제고

친환경 에너지

- 높은 에너지효율
- 탈탄소화, 온실가스 감축
- 미세먼지 저감

그림 1. 수소경제의 구성과 의미 (수소경제활성화 로드맵, 2019. 1. 17)

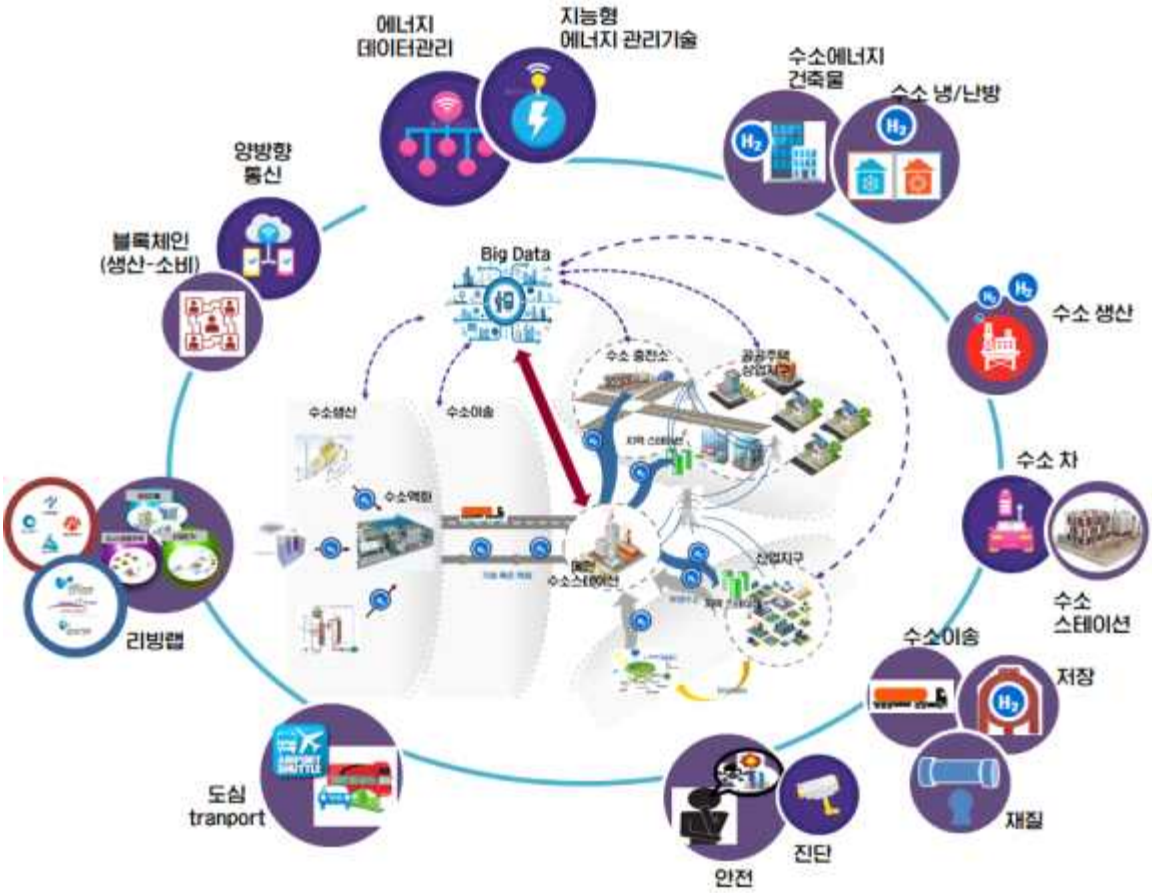


그림 2. 수소 도시의 컨셉

○ 기술개발의 방향 : 도시 내 적용가능한 신재생에너지와 ICT 기술을 연계한 스마트 수소에너지 도시의 모델을 제안하여 수소 기반 청정에너지 인프라의 구현과 보급확대를 목표로 함.

- 도시 내 재생에너지 및 전력/가스그리드 등의 연계·활용이 가능한 수소 생산 주거모델 개발 및 시스템의 실증
- 수소의 생산, 저장, 공유 및 활용이 가능한 수소커뮤니티 구축을 플랫폼 및 실증 시스템 기술 개발
- 도시 내 상업 및 공동주택 등에 적용가능한 수소도시 모델 설계
- 수소 시범 도시에 시민 참여형 리빙랩 구현으로 안전성 검증 및 수용성 제고
- 수소도시 모델 개발을 위해서 각 단계별 사회환경, 기술, 경제성 등에 대한 검토가 필요
- 환경 기반 분석 :

·수소에너지 및 인프라 관련 국내외 **기술동향, 정책동향, 시장동향, 특허동향 등**

의 조사·분석

·수소에너지 활용을 위한 사회적 환경/정책적 환경/경제적 환경 현황 및 분석

– 사회적 성숙도 분석

·수소에너지 도입을 위한 사회적 **수용성 및 만족도 향상을 위한 전략 분석 → 주민 편익 극대화를 통한 정책적 효과 제고**

– 기술 기반 분석

·**수소 생산, 이용, 저장, 공유 등의 기술적 완성도 및 성숙도 분석**을 통한 활용성 평가

·수소에너지와의 연계 융합 기술 도출 : **ICT 기술 및 재생에너지원과의 융합 기술 개발**

·도시 등의 **수소 에너지 활용을 위해 요구되는 커뮤니티 단위의 기반 설비 구축** 및 필요 설비 조사를 통한 신규 연구개발 사업 범위 도출

→ 국내외 수소에너지 활용성 및 잠재성 평가를 통한 도시/지역 적합성 분석 및 테스트베드 종류 별 필요수요 기반의 기술적 범위 도출

– 경제적 기반 분석

·경제성 확보를 위한 **핵심 기술별 성능 목표 도출**

·해외 사례 등과의 비교를 통한 기술적 잠재성 평가

·수소가 경제 성장(새로운 성장동력)과 친환경 에너지의 원천

그림 3. 기획 목표 달성을 위한 각 분야 기반 분석

1.2 기술의 개요

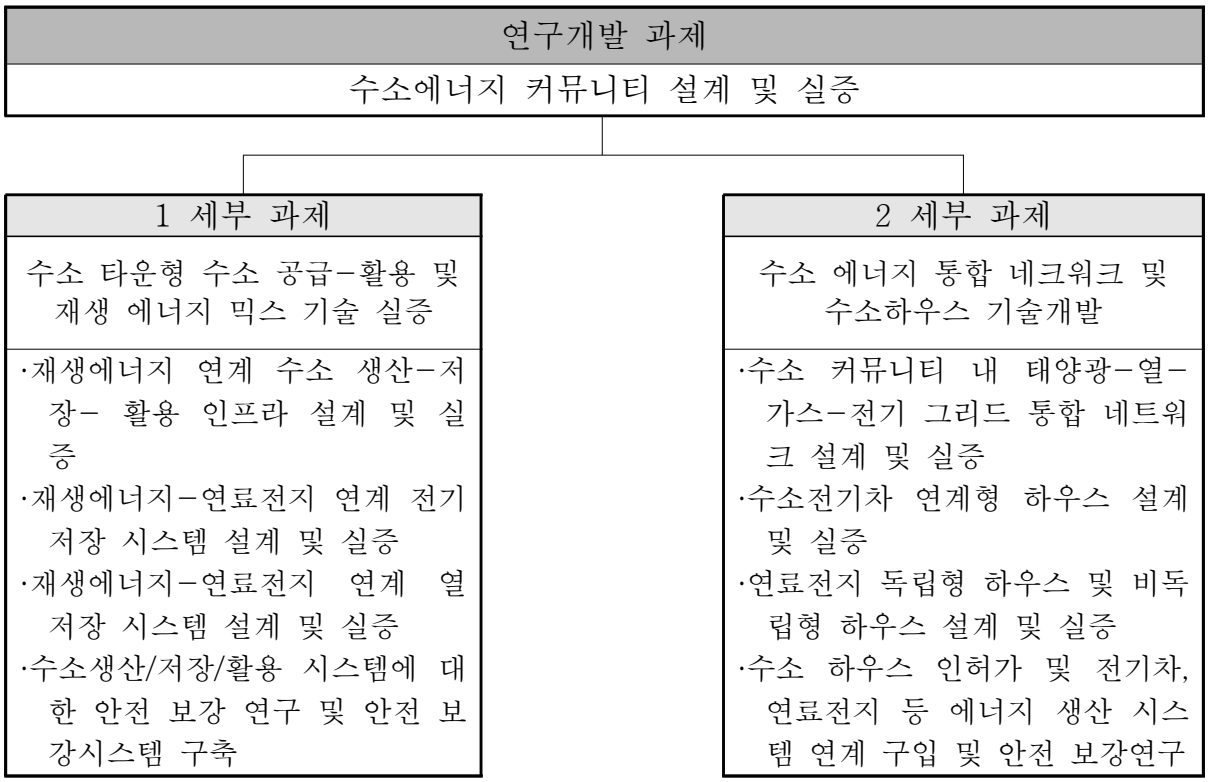
○ 연구목적

- 수소 시범도시 적기 구축('22년)을 위한 국산화 기반의 도시 인프라 기술개발
  ·도시 내 신재생에너지 연계·활용이 가능한 수소 생산 저장 공유 기술개발 및 수소도시 확장을 위한 도시설계 기술 개발
  ·기존 도시 에너지인 전력 및 가스그리드 연계형 수소 공급 시스템 및 활용 기술 개발 및 실증연구
  ·국산화 기반의 수소 시범 도시에 시민 참여형 리빙랩 구현 및 안전성 검증

○ 연구내용

- (1세부) 수소 타운형 수소 공급-활용 및 재생 에너지 믹스 기술 실증
  ·목표 : 수소 하우스 타운 내 수소기반 에너지 공급-저장-활용 및 재생에너지 연계 통합 시스템 개발 및 실증(신재생에너지 자립률 100% 달성)
  ·개발기술
    : 재생에너지 연계 수소 생산-저장- 활용 인프라 설계 및 실증
    : 재생에너지-연료전지 연계 전기 저장 시스템 설계 및 실증
    : 재생에너지-연료전지 연계 열 저장 시스템 설계 및 실증
    : 수소생산/저장/활용 시스템에 대한 안전 보강 연구 및 안전 보강 시스템 구축
- (2세부) 수소 에너지 통합 네크워크 및 수소하우스 기술개발
  ·목표 : 수소 타운 내 생산하는 재생 전기와 연료전지 열에너지 최적화 기술 개발 및 수소하우스 개발, 실증
  ·개발기술
    : 수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 설계 및 실증
    : 수소전기차 연계형 하우스 설계 및 실증
    : 연료전지 독립형 하우스 및 비독립형 하우스 설계 및 실증
    : 수소 하우스 인허가 및 전기차, 연료전지 등 에너지 생산 시스템 연계 구입 및 안전 보강연구

○ 연구단 구성



1.2.1 수소 타운형 수소 공급-활용 및 재생 에너지 믹스 기술 실증

○ 목표 : 수소 하우스 타운 내 수소기반 에너지 공급-저장-활용 및 재생에너지 연계 통합 시스템 개발 및 실증(신재생에너지 자립률 100% 달성)

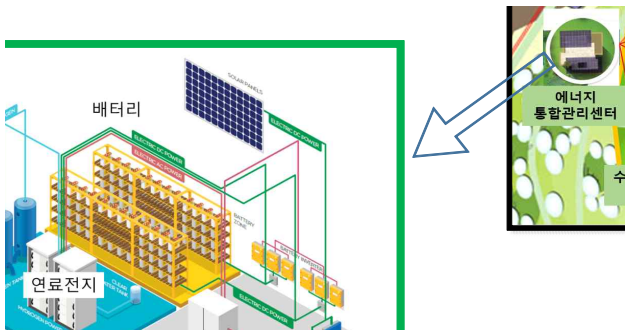


그림 4. 수소 타운 내 수소 에너지 공급-저장-활용 및 재생에너지 연계 통합 시스템

○ 주요 R&D 내용

- 재생에너지 연계 수소 생산-저장- 활용 인프라 설계 및 실증
- 재생에너지-연료전지 연계 전기 저장 시스템 설계 및 실증
- 재생에너지-연료전지 연계 열 저장 시스템 설계 및 실증
- 수소생산/저장/활용 시스템에 대한 안전 보강 연구 및 안전 보강시스템 구축

1.2.2 수소 에너지 통합 네크워크 및 수소하우스 기술개발

○ 목표 : 수소 타운 내 생산하는 재생 전기와 연료전지 열에너지 최적화 기술 개발 및 수소하우스 개발, 실증

○ 재생에너지 활용 플러스에너지하우스 모델 : 건물(주택)일체형 태양광/열 모델 및 기존 전력/가스그리드 통합 적용

- 건물 일체형 태양광/열에너지 생산 모델 구축 : 주택용 건물의 built-in photovoltaics (BIPV)와 built-in solar thermal (BIST) 에너지 생산, 운영 및 통합관리 플랫폼 개발
- 건물일체형 태양광/열 모듈 개발 및 냉난방부하 대응을 위한 태양광/열 융합 냉난방 및 환기공급시스템 개발
- 태양광/열 시스템과 냉난방 및 환기시스템의 시스템 통합 모듈화
- Power-to-heat (P2H) 구현을 위한 열에너지저장 기술과 히트펌프 기술 융합 및 실증

- 건물에 공급되는 기존 전력 및 가스 에너지의 활용
- 재생에너지원 잉여 생산 시 생산한 수소로부터(1세부) 커뮤니티 내 연료전지 발전 시스템(1세부)에서 생산된 열 및 전기를 주거 공간으로 공급, 사용하는 시스템 및 통합 운영
- 플러스에너지하우스/빌딩의 구축비용이 일반 하우스/빌딩 대비 15% 비용 상승 이내
- 커뮤니티 내 연료전지 발전시스템에서의 발생 전기 및 열 공급
- 건물(주택)의 부하 추종성 확보를 위한 에너지 전환/저장기술 실증
  ·P2H (Power to Heat): 난방/급탕용 열에너지 생산 (고효율 히트펌프 사용)
  ·BESS (Battery ESS): 단기 전력부하 추종형 에너지 저장
  ·TESS (Thermal ESS): 중기 난방/급탕용 열에너지 저장

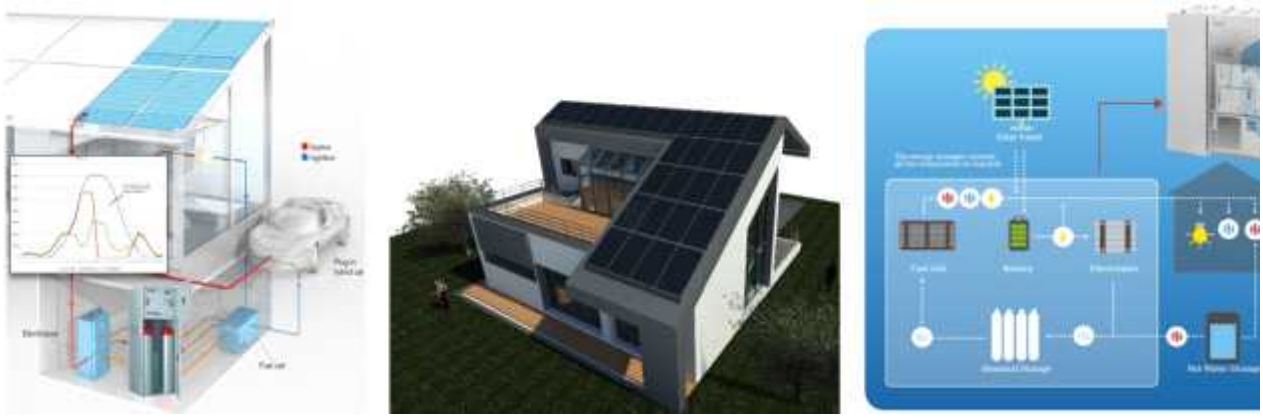


그림 5. 수소에너지 타운하우스의 유형 ((좌) 건물 재생에너지를 이용한 수소생산 하우스 (중) 재생에너지(태양광)를 이용 에너지를 생산하는 플러스에너지하우스 (우) 연료전지를 이용한 플러스에너지하우스)

그림 6. 수소 타운의 구성도

○ 수소기반 에너지 네트워크 확장형 모델 설계 및 운영 기술 개발

- 수소타운 대상지 도시적 특성 및 환경적 특성을 고려한 친환경 에너지 자원 용량 분석
- 시뮬레이션 모델을 활용한 복합에너지 공급시스템 설계 분석 모델 개발
- 수소 활용율을 20% 달성을 위한 복합에너지 공급시스템 설계 및 운영 최적화 방안 도출
- 대상 지역의 도시/환경적 특성 및 에너지 소비패턴에 따른 복합에너지 공급시스템 최적화 가이드라인 개발

○ 주요 R&D 내용

- 수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 설계 및 실증
- 수소전기차 연계형 하우스 설계 및 실증
- 연료전지 독립형 하우스 및 비독립형 하우스 설계 및 실증
- 수소 하우스 인허가 및 전기차, 연료전지 등 에너지 생산 시스템 연계 구입 및 안전 보강연구

1.3 기술의 필요성

○ 선진국의 수소경제를 위한 수소인프라 구축계획의 중심도 실질적으로는 수소 스테이션을 이용한 수소자동차 산업 증대로 초점이 맞추어져 있음

- **(일본)** JHFC 및 HySUT (The Association of Hydrogen Supply & Utilization Technologies) 프로그램을 통해 수소경제 관련 수소인프라 기술의 보급확대 사업 지속 중. 수소충전소 (H2 stations)의 상용화 연구 : 수소에너지의 광범위한 보급을 위한 목적으로 2009년 7월이후 지속적으로 실행. 2016년부터 HySUT라는 프로그램을 시작하여, 35개 산업계의 연합체(에너지 기업, 엔지니어링 전문업체, 수소 충전소 운영사 그리고 자동차 제조사 등을 포함)를 구성하여 수소충전소와 같은 수소에너지 인프라의 개발 및 시장보급 촉진을 위한 다양한 프로젝트들을 발굴/진행 중임. 도시 인프라와 관련해서는 기타큐슈의 제철소 부생가스에서 나오는 수소를 활용하는 도시 모델을 실증한 사례가 있음. 그리고 수송 에너지와 관련하여 일본 내 고속도로에 수소 충전소 100기 건설을 진행 중.
- **(미국)** 캘리포니아 주의 수소 충전소 및 수소자동차 보급 계획 (California Fuel Cell Partnership)으로 대표됨. 이는 연료전지 자동차 보급 활성화 그리고 이를 위한 수소충전소 보급에 대한 프로그램으로 1999년부터 시작됨. 2018년 7월까지, 약 5000대의 연료전지 자동차가 주 내에 등록되어 있으며 30여개의 수소 충전소을 이용할 수 있으며 29개소의 충전소가 추가될 계획. 기본적인 도시 내 수소 에너지 사용의 주체를 연료전지 자동차로 보고 있으며 이에 따라 공공부분이나 상용 수송 수단에서의 연료전지 자동차 보급도 추진과 이를 위한 인프라로 수소 충전소의 확대 설치에 초점. 수송에너지 분야로 주력하고 있으며 도시 에너지 시스템 전반을 수소경제의 플랫폼으로 구축하기 위한 계획과는 상당한 차이가 있음.
- **(유럽)** 4년 단위 혁신연구 프로그램인 Framework Program (FP)에서 FP2 단계 (1986 – 1990년)부터 FCH JU를 거쳐 현재 실행 중인 Horizon 2020의 FCH2 JU (Fuel Cells & Hydrogen Joint-Undertaking) 프로그램까지 11억 유로 이상의 연구비가 투입. 수소 및 연료전지의 시장 보급을 위한 프로그램을 꾸준히 진행함. PtoG, 건물용 연료전지 발전 등 수소에너지의 보급과 시장화에 주력하고 있음. 그러나 역시 도시 수준의 에너지 운영 시스템을 수소 에너지 플랫폼에서 운영하기 위한 모델의 제안이나 실증 사례는 없거나 매우 제한적인 사례만 있음.

○ 국내 산업 계획의 핵심도 수소차와 수소 스테이션 보급계획에 초점을 맞추어져 있음

- 현 단계에서는 모든 수소에너지 공급의 방향성이 선진국과 유사한 기술력을 보

유한 수소차 및 관련 분야에 치우침

- 울산에서 추진한 모험적인 수소타운 조성은 한분야 즉 부생수소가 있을 경우에만 한하는 것으로 부생수소 발생량에 의존해서 사업 규모가 결정됨

·공동주택, 공공건물에 10kW, 100kW급 수소기반 중앙집중식 연료전지시스템 구축

·100kW급(1기) 연료전지 시스템 공동주택(LS 니꼬동제련) 설치 및 운영

·중앙집중식 연료전지 구축하여 세대별 전기 공급 및 독신자숙소 등에 열공급을 통한 에너지 효율 극대화

·10kW급(2기) 연료전지 시스템 공공건물(온산소방서) 설치 및 운영

○ 전세계 수소에너지 관련 기술은 수소의 생산-저장-이송-활용 등의 모든 면에서 정립단계에 있으나, 태생적으로 수소 생산을 위해서는 에너지가 투입되어야 하므로 경제성 확보가 불투명한 상황임

- 선진국의 기술 개발 초점은 모두 시장이 형성되는 단계인 자동차 산업 쪽으로 초점이 맞추어져 있음

○ 선진국의 수소경제를 위한 수소인프라 구축계획의 중심도 실질적으로는 수소스테이션을 이용한 수소자동차 산업 증대로 초점이 맞추어져 있음

- 부가적인 산업으로 fuel cell과 수소 자동차외 타 산업까지 확대 적용이 어려움

- 수소 생태계에 대한 가치사슬 등의 구조적인 생태 조성에 대한 진지한 고민이 없음

○ 국내 산업 계획의 핵심도 수소차와 수소 스테이션 보급계획에 초점을 맞추어져 있음

- 현 단계에서는 모든 수소에너지 공급의 방향성이 선진국과 유사한 기술력을 보유한 수소차 및 관련 분야에 치우쳐 짐

- 울산에서 추진한 모험적인 수소타운 조성은 한분야 즉 부생수소가 있을 경우에만 한하는 것으로 부생수소 발생량에 의존해서 사업 규모가 결정됨. 따라서 지속적으로 성장할 수 있는 모델 구성이 어려움

○ 기술 개발이 발생분야, 이송분야, 저장분야, 연료전지 분야 등 개별적인 방향성으로 추구되어 통합 system적인 면이 부족함

○ 제도/법률적인 면이 모두 부족하고, 보조금 지원등에 치우쳐 있어, 수소자동차와 교통인프라 위주로만 발전하고 있으므로 도시라는 측면에서 다양한 분야로 확대 적용 필요

1.4 기술의 시급성 및 중요도

- ㅇ 지속적으로 온난화에 대한 위험성과 탈탄소의 중요성이 강조되는 시점에서 신재생에너지만을 활용하기에는 기술적, 경제적 문제를 완전히 극복할 수 없음
  - 신재생에너지는 대부분 전력생산이 초점이며, 이는 저장이라는 개념을 도입할 수 있는 기술적 한계가 있음.
  - 신재생에너지는 대부분 환경적 요인에 따른 연속적인 생산/소비가 어려움. 따라서 보조적인 수단으로 외에는 활용 면에서 한계가 있음
  - 한편, **수소는 에너지 carrier로서의 활용되어, 현재 화석연료뿐만 아니라 P-to-G 기술 등을 이용한 재생에너지의 이용, 저장에 활용하여 재생에너지의 유용성을 대폭 제고하여 친환경 탈탄소 에너지패러다임의 실현을 앞당길 수 있음**

- ㅇ 현재 선진국은 약 20년전부터 수소경제 실현을 위해 로드맵을 구축하고 기술개발을 시작하였으나, 국내는 비교적 최근 대규모의 투자를 계획함으로서 후발주자의 지휘를 가지게 됨
  - 수소 자동차 분야는 유일하게 선진국과 기술자웅을 겨룰 수 있는 분야이나, 이에 따른 부차적인 산업 즉 수소의 생산, 이송, 저장 등의 2차 산업은 격차가 발생됨
  - 이를 극복하기 위한 **fast follow전략과 기술적 우위성이 있는 분야를 구분함으로써 상황에 맞는 로드맵 구성이 시급**한 상황임
  - 모든 전략적인 핵심을 현 단계에서 구현할 수 있는 분야를 위주로 통합시스템 구축 로드맵 구성과 핵심기술 개발의 로드맵 구성을 구분하여 2원화 하는 concurrent 전략을 추진할 필요성이 있음

- ㅇ 수소 경제실현의 핵심은 **경제성 확보가 가능한 기술과 실질적인 탈탄소 전략**
  - 현재 공급되는 대부분의 수소는 화석연료를 월료로서 생성되고 있기 때문에 “탈탄소화”라는 대명제에 있어 약점이 될 수 밖에 없음. 따라서 안정적인 가격의 수소 확보를 위해 수소 생산기술의 포트폴리오 중 하나로 구성되겠으나 수소도시가 지향하는 목표점에 따라 재생에너지로부터 생산되는 수소와의 비중을 단계별로 최적화할 필요가 있음.
  - 장기적인 면에서 수소 생산을 전기분해로 초점을 맞추고, 에너지 저감을 위한 신재생에너지와의 연계 기술 개발 방향성을 설정해야 함.

- ㅇ 개별적인 기술과 함께 생태계를 구성할 수 있는 통합적인 산업영역을 구성하는

것은 향후 수소 경제에 있어 성패를 좌우할 수 있는 중요한 분야임

- 선진국에서 주장하는 수소 시티의 시범이후 실패의 원인은 크게 2가지로 구분할 수 있음
  ·(사용자와의 의사소통) 경제성이 비교적 부족한 수소에너지를 공급하기에는 사용자와의 괴리가 커서 이를 극복하기 어려움. 복지적인 측면에 대한 강조와 이에 대한 사회적 인식도 만족이 가능한 플랜 제시하거나, 수소 사회를 왜 구축해야 하는 가에 대한 사회적 인식 제고 필요.
  ·(실질적인 산업 생태계 부재) 산업과 2차산업을 연계할 수 있는 사업화 모델 부재로 인하여 경제성 확보가 가능한 시장 창출이 불가능하였음. 유일하게 1차와 2차산업이 연계될 수 있도록 구성된 자동차 산업만 활성화
- 확실한 대안으로서 도시라는 생태계 내 수소에너지의 결합성을 가지는 것은 시너지 효과를 일으킬 수 있음
- 도시에서 구성되는 수소 생태는 자연스러운 생산자와 소비자 연계가 가능하지만, 생소한 에너지 활용에 대한 사회적 동의에 대한 필요성이 강조됨

○ 시범도시 등을 통한 리빙랩 형태의 수용성 강화가 필요

- 위험함 물질로서의 인식이 될 수 있는 수소에 대한 거부감을 없앨 수 있는 모델 제시가 필요, 이는 리빙랩 구성에 대한 당위성을 의미

○ 정부지원의 필요성

- 수소 도시/생태계 구현은 새로운 에너지원 공급정책이 우선되어야 하며, 이는 민간영역이 아닌 국가적 차원의 대규모 사업이 될 수 밖에 없음
- 수소에너지는 현 단계에서 경제성이 없어 민간에서 순수하게 투자하기에는 정책적/제도적/사회적/산업적 기반이 없는 현 상황의 위험성이 너무 큼
- 국가 차원의 로드맵 개발이 필요함
- 민간과 산업계를 연결시키는 것은 정부의 중요한 미션임

○ 기획연구내용의 추진전략 : 기획 패러다임의 전환

- 현행 국토교통부의 플랜트 관련 기획은 테스트베드를 중심으로 이루어짐. 따라서 시장 수요자와의 의사소통을 간과하는 결과를 가져옴. 이는 최종적으로 개발한 기술의 시장 진입 및 지속성 창출에 대한 장벽으로 작용함으로서 기술 개발 이후 시장/수요자까지의 연계 단절의 주요요인으로 작용
- 현 시장 지배적 기술 중심에서 수요자 중심의 기술 수요를 적극 반영할 수 있는 기획으로 전환

- 현 기업 맞춤형 기술에서 소비자 맞춤형 기술기획으로 전환

- 현행 기술 중심의 테스트베드 구현에서 사용자 중심의 Living Lab구현으로 초점을 맞추어 실질적으로 활용 가능한 기술 중심으로 기획
- 수요자/사회 구성인의 니즈(NEEDS)에 대한 반영을 통해 일상생활 속 기술실증 구현 전략 추진 : 지속가능성 확보

그림 7. R&D 기획의 패러다임 추구 전략

2. 환경분석

2.1 국내외 기술 개발 동향

○ 수소생산 기술

- 수소 생산기술은 크게 전기화학적, 열화학적 방법으로 구분될 수 있음
- **(전기화학적 방법)** 전기분해 방식을 의미함. 수소 1 kg 생산을 위해 물 9L가 요구되며 효율의 향상을 위해 고순도의 물이 필요함. 따라서 일반적인 전기 분해 방식은 전처리로서 탈이온 장치를 필요로 하고 있음.

·전기분해는 크게 Alkaline Electrolysis (AE) 방식과 Polymer Electrolysis Membrane (PEM) 방식으로 구분됨. 두 기술에 대한 장단점은 표 2에 요약되어 있음

·기본적으로 **현재**시점에서는 **AE 방식의 전기분해가 더 경제적**이나, **향후** R&D적인 관점에서 추측할 경우에는 **PEM 방식으로 전환**해야 함. 특히 도심 등에서 사용을 위한 관점에서는 더욱 PEM 방식이 돋보일 것으로 사료.

·호주의 National Hydrogen Roadmap 2018은 현 기술 개발의 초점을 PEM 방식으로 맞출 경우 그림 9과 같이 향후 경제성 면에서 더욱 유리할 것으로 예측함

그림 8. PEM과 AE의 R&D 관점에서 기술 개발 및 최종 목표 생산단가
(호주의National Hydrogen Roadmap 2018 참고)

- **(열화학적 방법)** 화석연료 혹은 바이오매스 등을 열/화학물질들을 사용하여 수소, 일산화탄소/이산화 탄소의 혼합가스로 변환시키고, 그 중 수소를 분리하는 방법으로 상대적으로 현 시점에서는 **물분해에 비해 약 3배의 경제성**을 가짐

·(천연가스-수증기 개질) 천연가스-수증기 혼합물을 고온과 촉매를 활용하여 수소, 일산화탄소, 이산화탄소로 변환 시키는 방법

·(석탄가스화) 분쇄된 석탄을 고온과 고압하에 가스화하여 합성 가스로 변환시키는 방법

- **현재 시점**에서 수소 생산기술은 **열화학적 방법이 상대적으로 저렴**하나, 신재생에너지를 활용할 경우, 그림 9에서 전력비 소모를 저감할 수 있으며, **장기적인 관점**에서는 기술개발 요소가 많은 **전기분해에 의한 경제성과 유사할 것**으로 전망됨.

·수소를 화석연료로부터 생산할 경우 온실가스 저감, 탈탄소화 등의 목적이 퇴색하는 의미가 강함. 따라서 **장기적**으로는 **신재생에너지와 결합한 수소 생산 방식**으로 초점을 맞추어야 함.

·화석연료로 부터의 생산은 필연적으로 **CO_2 포집기술과의 조합이 요구**됨. 특히 이는 수소생산의 약 20%를 차지하므로 효율적인 CO_2 포집기술은 중요함

○ 수소저장 기술

- 저장기술은 수소에너지를 도심지까지 혹은 활용지까지 저장 및 이송하는 기술로 향후 수소 스테이션등을 활성화하기 위한 가장 중요한 기술 중 하나임

- 물리적 저장방법은 제한된 용기에 저장하는 기술로 압축수소저장과 액화수소 저장으로 구분

·**고압수소저장** : 압축수소저장기술은 고압으로 수소기체를 압축하여 저장하는 방식으로 최근 상용화된 수소 전기차 용으로 활용됨. 초기 350 bar에서 **현재 700 bar까지 기술 개발**되었음

·**액화수소저장** : 수소기체를 극저온 (−253℃, 20 ℃)으로 냉각시켜 액체 형태로 저장하는 기술로 무게 및 부피대비 **수소저장밀도가 상대적으로 높다는 장점**에 비해 에너지 (10−14 kW/kgH_2) 및 **비용 면에서 불리**한 것으로 알려짐

- 재료 기반 수소저장 및 이송기술은 고압수소저장기술의 한계를 극복하기 위해 소재기반의 대용량 수소저장 기술로 개발된 것임. 일반적으로 금속수소화물 및 화학수소화물로 구분

·금속수소화물 (고체수소저장) : 금속(혹은 합금, M)이 수소기체(H_2)와 반응하여 금속수소화물(MH_n)을 형성함으로써 수소를 저장하며, 필요 시 에너지를 공급하여 저장된 수소를 재방출하는 할 수 있는 수소저장·재방출 가역성이 확보된 소재를 활용하는 기술임. 부피대비 수소저장밀도가 압축수소 및 액화수소보다 높으나, 무게대비 수소저장밀도는 다소 낮고, 소재가 고가이며, 동시에 반복되는 수소의 흡·탈착 과정에서 소재가 열화될 수 있는 단점이 존재. 현재 가장 대표적인 금속수소화물은 Mg−M (M = Li, Cu, LaNi5, etc), M−B (M = Li, Mg, Ca, etc; 예, $LiBH_4$, $Ca(BH_4)_2$, 및 $Mg(BH_4)_2$), Ti−M (M = Fe, Mn) 등이 있음

·화학수소화물 (액상수소저장) : 화합물에 기반한 수소의 탈착 혹은 가역적인 수소의 저장·재방출이 가능한 소재를 의미하며, 액체 화합물에 기반한 액상 수소저장기술의 경우, 상온 및 상압에서 수소를 저장하고 이송한 후 필요 시 저장된 수소를 재방출하여 사용하는 수소저장·이송·재방출 기술을 구현할 수 있음. 대표적으로 화학수소화물인 톨루엔 (toluene)-메틸시클로헥산 (methylcyclohexane), 암모니아 등이 개발되고 있음

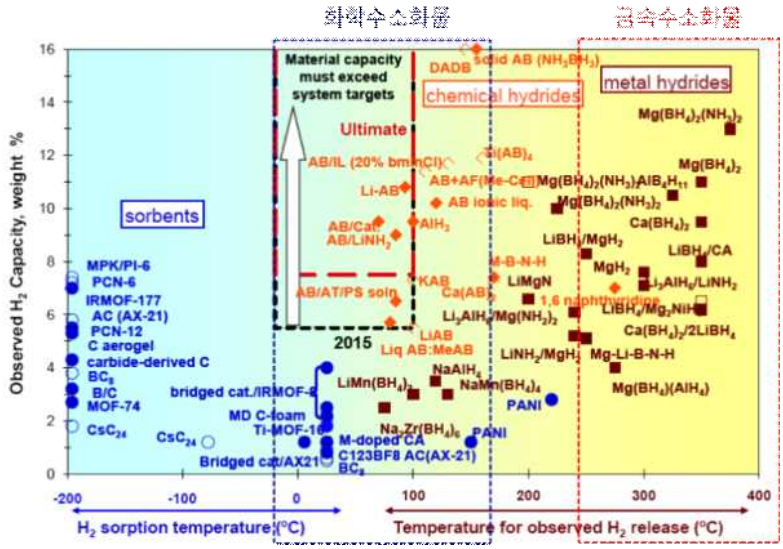


그림 9. 다양한 금속수소화물의 수소저장밀도 및 수소 흡·탈착 온도 비교 (빨간색 점선, US DOE)

·저장 방식별 장단점의 비교

기술	설명	장/단점
압축 방식		
저압탱크	- 부가적인 압력 없이 수소 저장	- 기술의 정립이 우수 - 낮은 에너지 밀도
	- 2.77 kg/m^3 (30-35 bar, 25℃) - 3.95-10.9 kg/m^3 (50-150 bar, 25℃)	- PEM을 통한 생산 압력 - 0.2-0.8 kWh/kg
고압탱크	고압하에 수소를 저장하며, 압력정도에 따라 cylinder 형과 composite 형으로 구분	- 기술의 정립이 우수 - 낮은 밀도와 추가 에너지 소요
	- 23 kg/m^3 (350 bar, 25℃)	4.4 kWh/kg
지하저장	지하의 암반 층에 구멍을 뚫어서 저장	- 낮은압력과 저비용으로 많은 부피저장 - 지형적 요인에 의존
액화 방식		
극저온 탱크	- 253℃ 조건에서 수소를 압축하여 저장	- 높은 에너지 밀도 - 기화에 의한 손실이 많음 - 경제적인 단점
	70.8 kg/m^3 (1 bar, -253℃)	10-13kWh/kg
저온압축	저온과 300bar의 고압에서 저장	- 높은 저장 밀도 - 기화에 의한 손실이 적음 - 경제적 단점

기타		
암모니아	수소를 암모니아로 전환하여 저장	- 이미 있는 정립된 기술 - 높은 수소의 밀도 - 이론적인 효율성의 제한 - 전환을 위한 에너지 소요 - 독성물질
	121 kg/m3 (1 bar, -33℃)	2-3 kWh/kg (단 다시 수소전환시 약 8kWh/kg 소요)

○ 수소운송 기술

- 운송기술은 가스상을 운송하는 튜브트레일러, 액화 수소 운송 트레일러, 파이프라인 등으로 크게 3개로 구분
- 전체 운송 기술은 전반적으로 효율개선이 되어야 하나 소규모로 운송되는 **튜브트레일러가 가장 많이 이용**됨.
- 전체적인 장단점은 그림 12에 요약되어 있으며, **대량 운송을 위해서는 별도로 파이프라인 구성**에 대한 고민이 있어야 함을 보여줌
- (현 경제성) 운송수단 중 파이프 라인을 제외하면, 트럭이 압축 수소 운송비용이 약 4배 비싼 것으로 조사됨. 액화 수소를 운송할 경우 유사한 비율을 갖지만 트럭은 2.33 $/ton/km에서 0.912 $/ton/km로 2배이상 저렴한 것으로 조사됨
- **파이프 라인에 의한 공급은 FRP를 이용할 경우 가장 저렴**한 것으로 조사되었으며, 이는 현재 천연가스 공급라인을 이용하는 방안을 가능하게 함. 단 이 경우 **약 20% 내외의 수소를 천연가스와 함께 공급**하는 것이므로 다양한 고려사항이 존재함

방법	조건	압력 (bar)	비용 ($/ton/km)
강철파이프	전송	103	0.82
FRP 파이프	전송	103	0.61
RE 파이프	분배	20	2.58
Truck			2.33 (430bar 압축), 0.92 액화시
Rail			0.55 (430bar 압축), 0.28 액화시
Shipping			0.52 (430bar 압축), 0.09 액화시

○ 수소스테이션용 현장수소생산 시스템

- 수소 스테이션은 일반적으로 수소의 생산과 압축, 저장, 공급이 이루어 질 수 있는 기술의 집약체로 볼 수 있으며, 여기에서 전력이라는 관점에서 **수소연료전지 자동차 시장의 확대와 함께 성장하고 기술 개발이 형성**됨.
- 수소연료전지 자동차의 보급 확대를 위해서는 차량 운행의 인프라 역할을 하는 수소스테이션의 보급이 필수적이며 수소 수요의 확대에 따라 현장 생산방식의 수소 공급이 경제성이 우수해짐

- 미국 DOE는 2006년에 현장생산형(on-site) 고순도 수소생산 유닛의 상용화 선결 조건으로 2017년 예상 수소 가격을 동일 발열량의 가솔린 대비 2배 이하의 가격 절감 가능성을 중요 기술 목표로 설정
- 특히 생산 방법과 무관하게 $3/kg-$H_2$ 이하를 요구하였으며 천연가스 개질에 의한 생산 기술의 경우 목표치의 달성이 가능한 것으로 판단
- US DOE의 수소생산 목표 가격을 달성한 H2Gen Innovation Inc.는 2009년에 Air Liquide사로 기술을 이전하였고 현재 HYOS-R 10k라는 제품명으로 판매 중
- HYOS-R 10k의 수소 생산 용량은 574 kg/day 이며 수소생산 효율 75%(HHV)으로 99.999% 순도의 수소 생산이 가능
- HYOS-R의 기술 특징은 대량 제작 시 가격 저감 효과가 큰 일체형 반응기 구조를 채택하여 장치를 고효율화, 컴팩트화한 것임

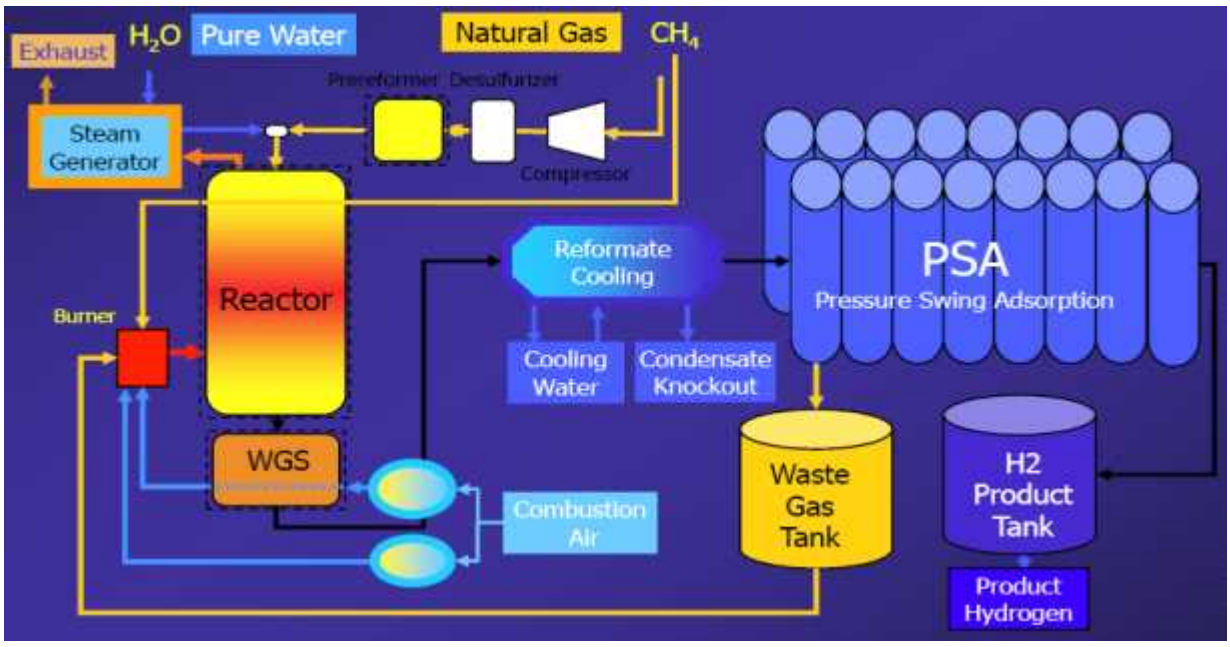


그림 10. HYOS-R 10k 수소생산 유닛 구성도

- Mitsubishi Kakoki Kaisha, Ltd(이후 MKK)는 자사의 산업용 대형 개질기 설계기술을 활용하여 1999년부터 On-site 방식 수소 생산유닛 개발 추진(최대 용량 643 kg/day)

그림 11. MKK의 수소충전소용 수소생산유닛 사양과 외형 (MKK, 2015)

- Osaka Gas Co.는 2000년대 초반부터 현장 생산 방식 수소생산 유닛 개발을 진행하여 2014년 HYSERVE-300을 개발(643 kg/day, 수소생산효율은 72%(HHV))

그림 12. HYSERVE-300

- 화석연료를 이용한 소형(43~64 kg/day급) 수소생산 유닛은 한국에너지기술연구원, 한국가스공사, SK이노베이션, GS Caltex에서 수소충전소 구축에 활용한 바 있음

○ 수소 연료전지차 기술 현황

- 우**리나라의 수소연료전지차 기술**은 **세계 최고 수준**임. 그림 15는 이러한 현황을 보여주는 것으로 **수소에너지 활용면**에서 유일하게 **선진국과 경쟁이 가능한 분야**임

·2013년 세계 최초로 투싼 iX 수소연료전지차 양산을 시작하였으며, 2018년 2세대 수소연료전지차 넥소를 발표함.

·투싼 iX 의 일충전 주행거리는 415 km 정도였으며, 넥소는 600 km 이상임 (충전시간: 약 3분).

구분	현대	도요타	혼다	닛산	다임러	GM
차량 형태						
출시 시기	'13.2월	'14.12월(일) '15.9월(미)	'16년 3월	'17년 출시	'17년 출시	'20년 출시
차량 가격	8,500만원 ('15)	700만엔	Mirai 수준예상	가격에 관한 정보 없음		
주행거리	440km	480km	700km	500km (실연비)	400km	300마일 (483km)
판매/생산 목표	'18년 수천대	'15년 700대 '17년 3천대	'20년까지 5천대 생산	부품공용화로 '17년 연간 10만대 생산		
출력	100kw	114kw	100kw	80kW(추정)		80kW(추정)
최고시속	160km	175km	160km	사양에 관한 정보 없음		

그림 13. 각국의 수소연료전지차 성능 비교

- 우리나라의 수**소 충전소 및 수소연료전지차 보급**은 **미국, 일본에 비해 부진한 상황**임.

- 국내 수소자동차는 207대로 일본 대비 7.8% (2,667대), 미국 대비 4.9% (4,215대)로, 아직까지 국내 판매는 부진한 상황임.

- 국내 충전소는 12기로 상업용으로는 7기만 사용 가능하며 (나머지 5기는 연구용), 일본대비 12% (고정식 60기, 이동식 40기, 총 100 기) 수준의 인프라가 확보된 상황임. 2018년도에 고속도로 휴게소 등에 8기를 추가 건설할 계획임.

- 정부에서는 **2022년까지 수소충전소 310기 건설(누적)**과 **수소연료전지차 1만5천대, 2030년까지 63만대 보급 계획을 발표**하였음. (친환경차 보급계획,

2018.06)

년도	2018	2019	2020	2021	2022	2030
수소전기차(천대) *()안은 당해년도	0.9 (0.7)	2 (1.1)	5 (3)	9 (4)	15 (5)	630
수소전기버스(천대)					1	n.a
충전소/누적(개소) *()안은 당해년도	39 (18)	80 (41)	130 (50)	200 (70)	310 (110)	520

- 일본은 2020년 도쿄올림픽을 기점으로 수소에너지 사회로의 전환을 시도하고 있음.
- “차세대 저공해 자동차개발”을 통해 1998년부터 `12년까지 하이브리드자동차와 수소연료전지자동차 기술개발에 1,060억 엔(약 1조 원)을 지원함.
- NEDO에 차세대 배터리 수소부서 설치(`18)를 통한 EV/FCEV 보급 확대 핵심 기술 개발 및 EV용 차세대 배터리 개발을 위해 경제산업성이 16억 엔을 투자함.
- 토요타와 혼다에서 판매하고 있는 수소전기차도 충전시간(3분)과 주행거리(약 600 km), 판매가격(약 700만엔) 는 우리나라의 넥소와 비슷한 수준임.
- 가격 저감을 위해서는 연료전지스택 가격의 50% 정도를 차지하는 **백금 촉매의 사용량을 낮추거나 저가 소재로 대체하려는 연구가 활발**함. 또한 현재 사용하고 있는 고가의 **나피온 전해질 막을 대체**할 수 있는 **고분자 개발도 꾸준히 진행**되고 있음
- 내구성 향상을 위해서는 고내구성 **막전극접합체(MEA) 제조 기술, 고내구 고강성 기체확산층, 고내식성 금속분리판 및 가스켓 일체형 모듈, 저진동 고내구 공기압축기, 스택 열관리 부품 개발, 스택 내구성 향상 운전 기술 등의 개발**이 필요함.

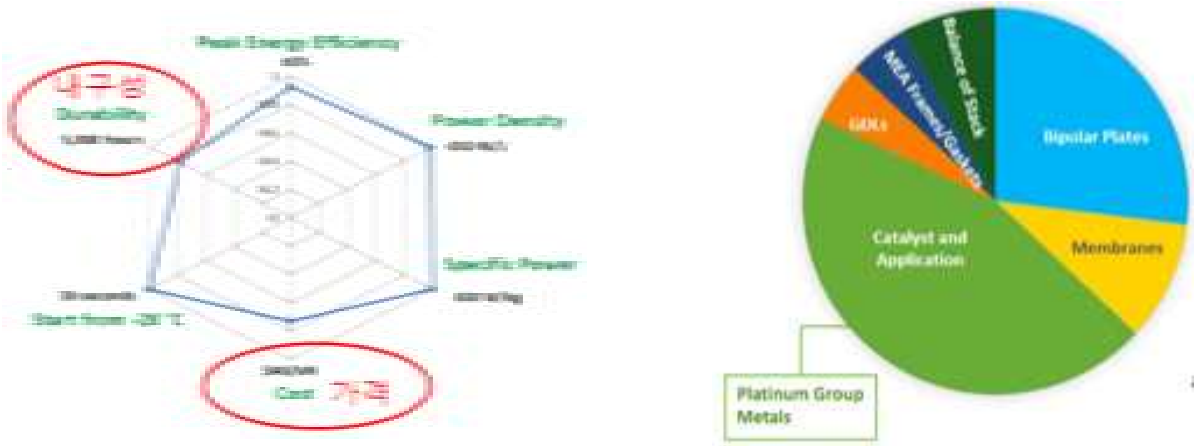


그림 14. 수소연료전지차 기술수전 분석 및 가격구조 (DOE AMR, 2017)

○ **도시구성과 신재생에너지**

- 목**적 :** 일반적으로 도시내 신재생에너지 도입은 **탄소저감을 최우선적 목적으로 제안**되고 있음. 그러나 실질적으로는 **환경오염 저감에 따른 도시 생활의 복지 증진**이라는 측면이 강함. 이런 측면에서 도심내 현 화석연료에서 발생되는 에너지 사용이 온실가스 발생량의 주범이며, 온실가스는 이산화탄소의 구성비가 가장 높은 것으로 조사됨.

- 이러한 관점에서 신재생에너지 혹은 수소에 의한 도심 내 에너지 공급은 전세계적으로 추진의 목적성 면에서 타당한 면이 존재함.

·그리드적인 관점에서는 열병합 발전과의 조합으로 열원을 공급하며, 냉/난방수 공급에 의해 해결

·태양광과 풍력 등으로 대표되는 신재생에너지는 전기를 공급하는 수단이 일반적이므로 열원으로서의 가치는 다소 낮은 것으로 판단됨. 지열/태양열은 복합발전이 가능한 몇 안되는 신재생에너지원이나 지역적 환경에 크게 의존하는 경향이 있음

·**수소의 경우 복합발전이 가능**하기 때문에 **도심내 에너지 분배라는 측면으로 전략적 접근이 가능**함 (복합 수소 스테이션의 대형화)

·화석연료는 일반적으로 발전소 등으로 운송되고 저장되어 활용

·**신재생에너지는** 전기저장의 방식으로 운용이 되어야 하나 상대적으로 대형화에 대한 R&D적인 관점에서 더 많은 진보가 요구되며, **실제 냉/난방이라는 부분에서 부족**

·현재 배터리, 연료전지라는 관점에서 빠른 발전가능성을 보여주고 있으나, 대형화라는 관점에서 더 많은 투자가 요구됨

·**수소에너지는 화석연료와 같은 방식의 저장과 연료전지를 통해 저장과 공급이 가능한 유일한 에너지원**으로서 가치가 뛰어남. 또한 수소에너지 저장 시스템은 그림 에서와 같이 도심내 에너지 공급원으로서 대형화의 가능성이 가장 높다는 장점이 있음. 다만 이런 장점은 **화석연료에서 수소가 생성될 때 의미가 퇴색**함

·신재생에너지원과 **수소에너지를 적절하게 연계 활용**하기 위해서는 **분산형 에너지 공급 시스템을 고려해서 추진**해야 함. 단 이러한 시스템을 위해서 필수적인 것이 초전도 케이블과의 연료전시 시스템의 결합으로 적은 용량에서 발생하는 손실 최소화가 중요한 목표임

·에너지 소비량의 측정 및 예측 분산형 혹은 하이브리드형 에너지 공급을 위해 반드시 요구되는 것으로 양방향의 통신이 가능하게 하여 주는 수단으로 개발이 필요함

·분산형 시스템 구축에 대한 전략은 총 3가지로 구분될 수 있음

: **(분산발전)** 섹터별 공급이 가능한 소규모 발전 시스템 구축 전략

: **(분산 냉난방)** 화석연료의 에너지 소모 대체를 위한 것으로 발전과 냉각/히팅 시스템의 지역화 추진 전략

: **(분산에너지 시스템)** 상기 발전과 냉/난방의 복합시스템을 분산형으로 설치하는 전략 추진. 이는 수소 복합스테이션 추진 전략과 동일

- 공공건물들 조합 등의 마이크로 그리드 구성과 전기차 : 소규모이나 가장 많은 전기 등의 에너지를 요구하는 곳으로 구분되며, 복합 하이브리드 측면에서 적용성이 높은 곳으로 분류

·몇몇의 공공건물 조합을 통한 소규모의 분산형 시스템을 구축하여 하이브리드 전력 시스템을 구축, 평시에는 일반 전력을 소모하나 수소의 저장능력을 활용하여 필요시 사용량을 늘릴 수 있는 flexibility 확보.

○ 도시형 플러스에너지하우스 구축 및 실증

- 선진국에서는 2020년부터 Nearly Zero Energy Building 의 건축을 의무화 하고 있음. 우리나라는 2025년에 신축주택, 2030년에 상업용 건물의 Zero Energy Building 의무화를 추진하고 있음.

그림 15. Global 제로에너지 빌딩 정책동향

- 독일 : Efficiency Houses Plus: 건물을 마이크로 발전소의 역할로서 주변의 에너지 수요에 대응할 수 있도록 플러스화 하는 연구개발을 진행하고 있음

·2011년부터 베를린에서 파일롯 프로젝트로서 플러스에너지하우스와 전기차 조

합을 새로운 기준으로 시험

·Efficiency Houses Plus network를 통해 다양한 솔루션 및 기술들의 최적화 방안을 개발하고 있음.

·2013~2015년 37개 플러스에너지하우스가 건설되었으며 이후 각 건물 데이터가 모니터링 및 비교 검토 되고 있음.

·이후 36개의 에너지 부하가 높은(>500 kWh/m^2/a) 노후 아파트 형태의 건물이 새롭게 플로스에너지 건물로 리모델링되었음

·다음 단계로 비거주 건물을 대상으로 프로그램을 전환할 계획('Educational buildings built to Efficiency House Plus standard')

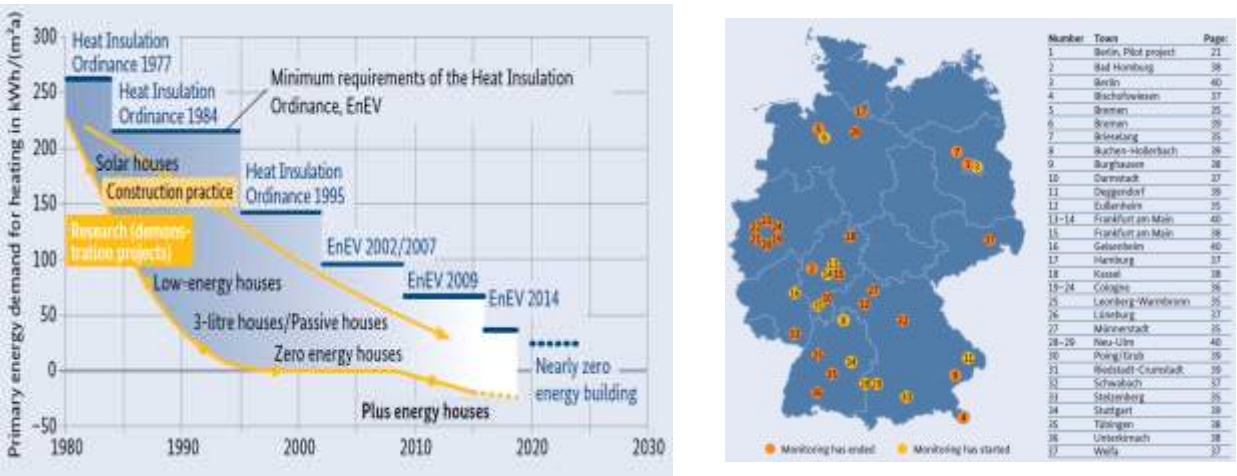


그림 16. 플러스에너지 하우스 연구 및 관련 규정 변화(좌), 프로그램으로 건설된 독일 내 플러스에너지하우스 실증주택 및 모니터링 현황(우)

(출처: Strategies for Efficiency Houses Plus, Principles and examples of energy-generating buildings, 2016, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, Germany)

○ 건물(주택)통합형 재생에너지원의 요소기술 실증

- 건물일체형 BIPV 기술

·유연한 특성이 필요한 BIPV 분야에서 박막 태양전지의 수요가 꾸준하게 증가하고 있으며, 결정질 태양전지의 경우 견고한 재질 특성으로 지붕(roofing tile)과 벽체(wall cladding)에 설치되고 있음.

·유럽과 미국 그리고 일본에서 지붕재형 모듈시장이 급격하게 성장하면서 rooftop 시장용 제품개발과 공법개발에 박차를 가함. 지붕재는 크게 지붕건자재와 일체화된 integrated type과 탈부착이 가능한 installed type으로 구분됨. Sharp의 경우 installed type용 모듈로 높은 보급 실적을 올렸으며, 최근 Suntech, BP solar 등의 서구 업체들은 integrated type에 주력함. 아직까지는

installed type이 높은 비율을 차지하고 있으나 점차 integrate type의 비중이 커져 installed type의 비율을 능가할 것으로 예측됨.

·맞춤형 solar 셀 및 모듈, 건자재화 기술 상용화 단계에 이름. 용도별 건축 설계환경에 알맞은 이른바 맞춤형 BIPV시스템 표준설계가이드라인 제공. BIPV 에너지생산효율과 건물 에너지관점에서 유용하게 활용되는 광학적 성능에 대한 표준 인증체계 수립 중.

·SOLARWORLS, CONERGY, SCN energy 등에서 설치시공이 간편하고 다양한 형태의 지붕에 적용 가능하며 우수한 방수, 통풍 기능을 갖춘 Mounting System 개발 중.

·현재 미국의 Uni-Solar사 및 Global Solar Energy는 유연한 기판에 적용한 박막 태양전지를 양산하여 평균 변환효율 10%를 목표로 지붕재 등 다양한 Application 개발 중.

·Konarka, Plextronics는 도전성 고분자로 인쇄 가능한 솔라잉크를 개발하여 인쇄기법으로 모듈을 제작하는 기술 개발.

– 고효율 건물일체형 태양광/열 시스템 적용 제습환기시스템

·IEA SHC (International energy agency, solar heating & cooling program)의 task 35를 통해서 캐나다, 덴마크, 독일, 이탈리아, 스페인, 스웨덴, 미국 기업의 PVT를 개발에 연구현황을 공유하고 지속적인 개발 진행 중.

·주로 건물 일체형 PVT에 적합한 액체식 PVT 연구에 대한 수요가 증가하고 있음.

– 연료전지 기술평가 센터

·미국의 NREL의 국립 연료전지 기술평가 센터의 경우 실제 운영에서의 수소 연료전지 기술에 대하여 연료전지 스택, 백업전원, 지게차, 자동차, 버스 등 완제품의 기술평가를 수행하고 있음

·다양한 수소 및 연료전지 업계의 실질적 데이터를 독점적으로 관리, 저장 및 처리하며 데이터베이스 구축

그림 17. 국립 연료전지 기술평가 센터 (출처: https://www.nrel.gov/hydrogen/nfctec.html)

- 수소인프라 시험 및 연구 Facility

·NREL, ESIF의 HITRF(Hydrogen Infrastructure Testing and Research Facility)는 수전해, 수소 스테이션 및 연료 전지 차량을 결합하고 구성 요소, 시스템 및 제어 테스트의 근거지 역할 수행

그림 18. 수소인프라 시험 및 연구 Facility
(출처:https://www.nrel.gov/hydrogen/facilities.html)

○ 수소 도시의 개념과 실증시도

- 전 세계적으로 공급되어지는 전력(power)의 약 75%가 도시에서 소비되고 있어서, 에너지 소비게 이루어지는 도시 내에서 에너지를 생산하는 분산형 에너지 공급 시스템은 에너지 효율성을 높이는 데 큰 역할을 함. 재생에너지 기반 도시 통합형 에너지 공급시스템 개발의 가장 큰 기술적 문제점은 지역마다 에너지 요구량 및 가능한 에너지 자원이 다양하고, 불확실하다는 점을 들 수 있음.

- 하르츠(Harz)에 도입된 RegModHarz는 태양광 발전소, 풍력 발전소, 바이오가스 발전소, 연료전지를 이용한 분산형 융복합 시스템을 개발 및 적용하였음. 이 프로젝트는 태양에너지와 풍력에너지와 같이 에너지 생산량이 일정하지 않은 시스템의 에너지 생산량 균형을 맞추는데 바이오가스 및 연료전지를 이용하여 에너지 수요와 공급의 균형을 맞추어 융복합 시스템의 효용성을 입증하였음.

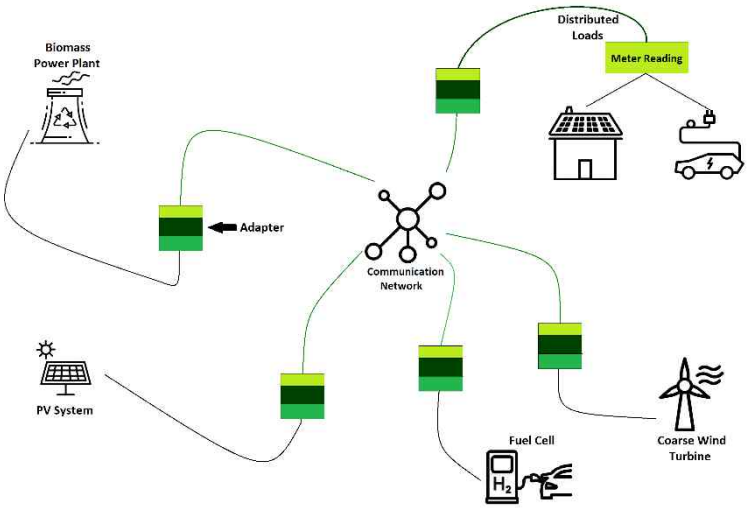


그림 19. RegModHarz 분산형 에너지 공급시스템 개념도

- 베를린 브란덴부르크 공항은 수소 실증 단지로, 500kWe 수전해, 100kg 수소 저장장치, 바이오가스, 태양광을 동시에 이용할 수 있는 연료전지 열병합 발전 시스템을 구축하였음. 풍력과 태양광에서 공급되는 에너지의 불확실성을 극복하고자, 수소를 이용한 연료전지를 도입하였고, 수소를 발생시키는데 사용되는 에너지는 재생에너지원을 통해서 공급되도록 하이브리드 에너지 공급시스템을 개발하였음.

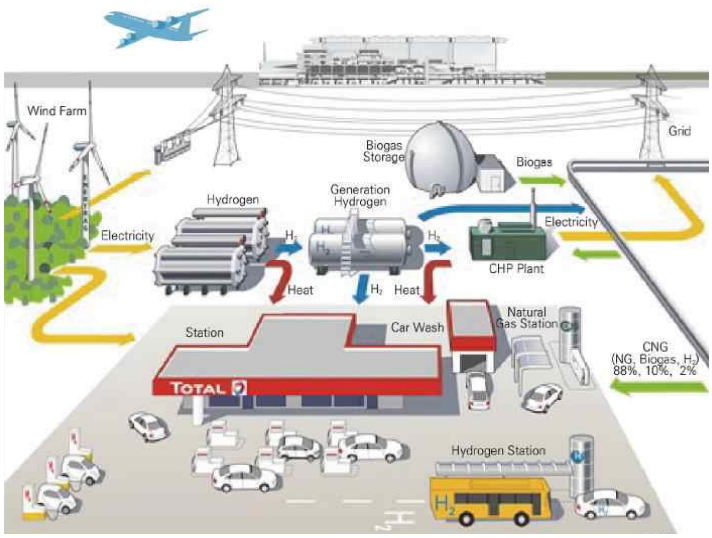


그림 20. 브란덴부르크 공항 신재생 하이브리드 시스템 (from Total Website)

- 일본의 기타큐슈시의 수소타운은 400kW 태양광 발전소, 800kW 축전지 와 110kW 연료전지를 이용한 지역 에너지 관리 시스템으로 스마트 커뮤니티 센터 설립하였음. 기타큐슈시에 있는 제철소의 부생수소가스를 수소스테이션에 공급 및 인근 건물에 공급하는 공급망을 설치하여, 건물 단위의 연료전지 발전시스템과 태양광시스템 및 축전지와 연계된 복합형 에너지 시스템을 구축하였음. 세계 최소의 수소 도시 실증 사례이긴 하나, 수소공급 경제성 부족으로 도시 단위로의 확장성에 문제가 있음.
- 그림 21은 수소에너지를 활용하는 도시의 개념을 보여주고 있음. 단순한 수소에너지의 흐름을 보여주는 것으로, 전기분해에 의한 수소생산과 수소 자동차, 수소 발전소의 연계를 나타낸 것이고 또한 난방 시스템의 흐름을 함께 보여줌.

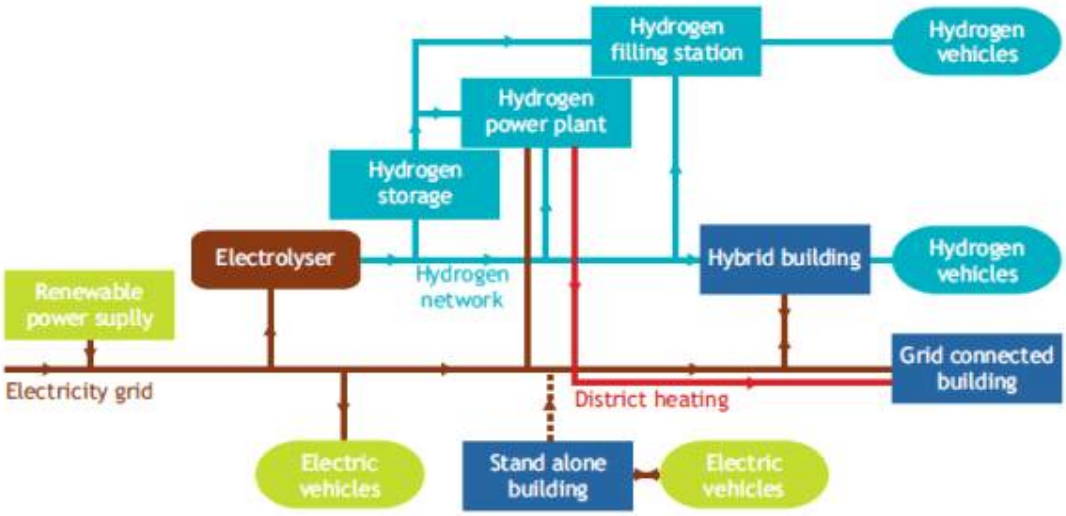


그림 21. Danish 사에서 제시한 수소시티 H2PIA의 컨셉

- 그림 22는 수소와 기존 에너지 등을 활용한 하이브리드 에너지도시에 대한 컨셉을 보여 주고 있음. 전체 컨셉의 특징은 수소활용 면에서 분산화이며, 각각의 에너지, 전력 등의 흐름에 대한 지역적 그리드를 나타냄.

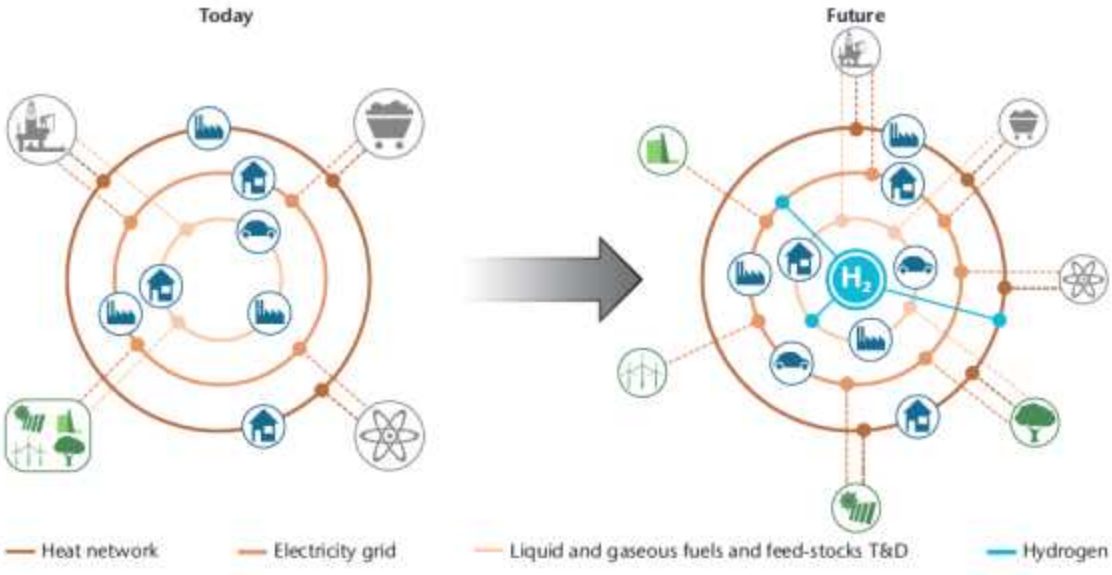


그림 22. 수소도시 구축을 위한 에너지 분산 컨셉 (Hydrogen and fuel cells technical roadmap 참조)

2.2 국내외 관련분야 정책 동향

○ 선진국의 수소 산업 육성책

- 수소경제 활성화의 실증 모델로서 도시 구축의 선진국은 일본, 미국, 유럽 등으로 요약될 수 있으며, 각각의 국가별 특성은 아래와 같이 요약 정리되어있음

그림 23. 수소도시 구축을 위한 에너지 분산 컨셉

○ **일본**

- 수소에너지 인프라 개발관련 프로그램 개요

· JHFC project(Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project) : 연료전지 자동차 및 수소에너지 인프라의 실증 관련 연구로 2002년부터 2010년까지 실행됨. 연료전지 자동차와 수소 충전소 운영에 따른, 실질적 효율(well-to-wheel efficiency)을 정의하고, 실제 운용환경에서의 문제점 파악, 규제, 표준화를 시작한 프로젝트임.

· 수소충전소(H_2 stations)의 상용화 연구 : 수소에너지의 광범위한 보급을 위한 목적으로 2009년 7월이후 지속적으로 실행. 2016년부터 HySUT(The Association of Hydrogen Supply & Utilization Technologies)라는 프로그램을 시작하여, 35개 산업계의 연합체(에너지 기업, 엔지니어링 전문업체, 수소 충전소 운영사 그리고 자동차 제조사 등을 포함)를 구성하여 수소충전소와 같은 수소에너지 인프라의 개발 및 시장보급 촉진을 위한 다양한 프로젝트들을 발굴/

진행 중임

- 수소 인프라 구축 관련 대표 프로젝트

· **기타큐슈 수소타운 : 제철소 부생수소가스 활용 수소도시 계획**. 부생수소를 수소 스테이션에 공급하고 인근 가구, 공공시설 등에 파이프라인 공급망을 설치하는 수소 공급계획이 주된 내용임. **핵심은 연료전지를 이용한 수소발전**으로 가정용/상업용 연료전지 발전설비의 실증을 위한 설비와 **건물용 태양광 발전 및 이차전지 등과 연계**한 에너지 시스템을 구축함. 도시 내 수소 공급망을 통한 수소 에너지 기반 도시의 실증으로는 세계 최초 사례임.

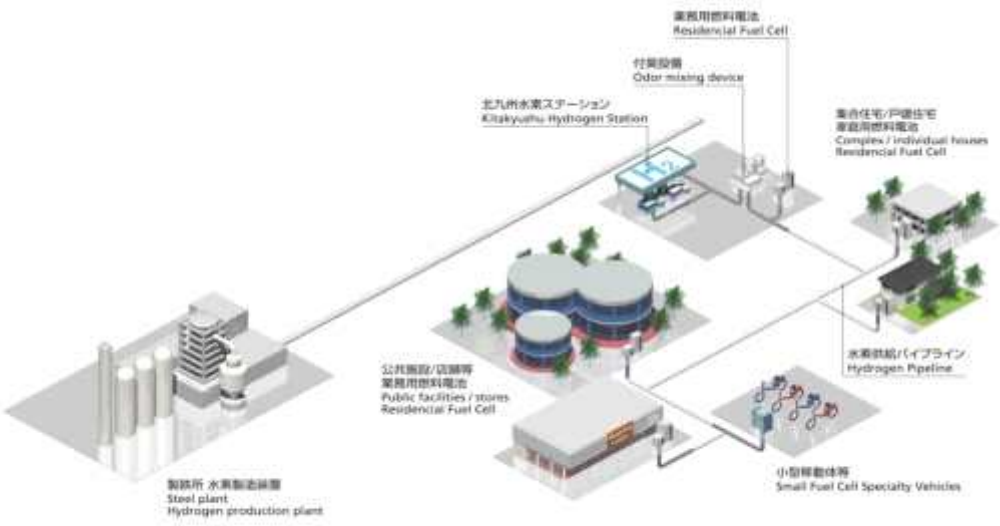


그림 24. 기타큐슈 수소 타운 개념도
(https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id030826.html)

· **수소 고속도로(Hydrogen highway in Japan)** : 일본의 주요 고속도로에 연료전지 자동차를 위한 수소 충전소를 건설하여 연료전지 자동차의 조기 보급을 촉진하기 위한 프로젝트. 일본 전역에 걸쳐 100기 건설을 계획하고 있으며 2016년까지 약 80여기가 구축되어 운영 중

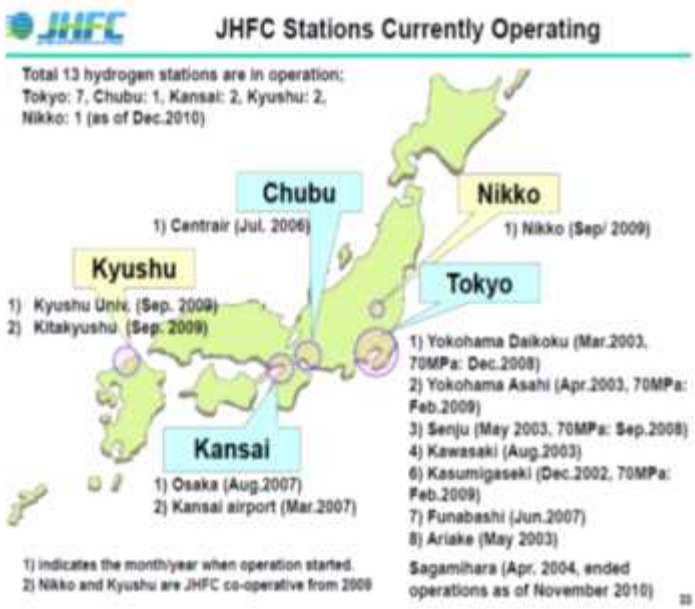
- 시사점

· 2000년대 초반부터 도시가스로부터 fuel processor(연료개질기)를 활용하여 수소를 생산하고 고분자전해질연료전지를 이용해서 가정용 발전 및 온열 공급 시스템을 상용화하기 위한 프로그램 (ENE-FARM, https://www.tokyo-gas.co.jp/techno/english/menu3 /2_index_detail.html)을 실시

· 최근에는 연료전지 자동차 보급을 촉진하며 전국에 수소 충전소 시설을 확충

하기 위한 실증 프로젝트 및 연구 개발이 꾸준하게 이루어지고 있을 정도로 지속적인 투자/연구개발을 진행중

· 2020 도쿄올림픽에서 본격 수소에너지 사회를 보여주는 것을 목표 진행 중.



[JHFC Phase II 수소충전소 : 13기(2010)]

[HySUT 수소충전소 : 82기(2016)]

그림 25. Hydrogen Highway 건설 전략에 따른 일본의 수소충전소 현황 (2010년 및 2016년)

– 한계점

· 지난 20년간의 꾸준한 연구를 통한 세계 최고 수준의 완성도에 비해 **아직 도시 (또는 대단위 지역 공동체) 규모로서 수소 사회 구현에는 못미침**

· 연료전지 자동차와 수소 충전소를 통한 수소 에너지의 상용화에 주력.

· 기타큐슈에서 보여준 제한적인 의미(철강공정에서 발생한 코크오븐가스 등을 활용해서 생산된 비교적 저렴한 수소를 소규모 지역 발전에 사용하는 수준)의 수소도시 test bed만 있음.

· **수소의 경제성 부족**에 따른 **도시내 에너지 생태계를 실현에 대한 한계점**을 드러냄.

· 따라서, 현재 접근 가능한 수소 생산(개질 및 수전해 기반 수소충전소), 저장(고압, 액화, 암모니아), 이용 (연료전지 자동차, 건물용 연료전지 시스템) 기술의 조합을 보급하기 위한 단계로 평가

· 본격적인 수소 에너지 사회의 "설계"를 위해서는, 1) **수소 에너지**의 생산, 저장, **이용 기술의 최적 포트폴리오 구축**과 2) 확보 가능한 **재생에너지원**과 전**통**

적 에너지(화석연료 및 원자력)의 최적 연계를 통해 도시 수준 또는 국가 수준의 **수소가 에너지 시스템의 중심인 사회 설계도를 구축하기 위한 방법론**이 필요함.

○ 미국

- 캘리포니아 주의 수소 충전소 및 수소자동차 보급 계획 (California Fuel Cell Partnership)으로 대표됨

· 연료전지 자동차 보급 활성화 그리고 이를 위한 수소충전소 보급에 대한 프로그램으로 1999년부터 시작됨.

· **연료전지 자동차의 보급과 이를 위한 수소 생산방식에 따른 전과정 평가**(life cycle assessment; LCA)를 통해 연료전지 자동차의 보급을 통한 친환경 정책 목표의 제안과 정책 효과의 계량을 제시 함

· 2018년 7월까지, 약 5000대의 연료전지 자동차가 주 내에 등록되어 있으며 30여개의 수소 충전소을 이용할 수 있으며 29개소의 충전소가 추가될 계획

· 기본적인 **도시 내 수소 에너지 사용의 주체를 연료전지 자동차**로 보고 있으며 이에 따라 공공부분이나 상용 수송 수단에서의 연료전지 자동차 보급도 추진과 이를 위한 인프라로 **수소 충전소의 확대 설치에 초점**.

- 시사점

· 수소에너지 확산효과의 정량화 : 연료전지 자동차로 수소에너지 이용의 주체를 한정하기는 하였으나, 이러한 **친환경 자동차의 보급을 통해서 얻게 되는 환경적 이득을 LCA적 기법으로 정량화**하였으며, 이를 통해 개발 목표의 설정이 이루어짐.

· 지향점에 따른 연구개발의 다양성 확보. 예를 들면, 온실가스 감축 목표에 대한 비중이 높을 경우, 수소 생산방식에서 개질 방식보다는 **재생에너지원 기반의 수전해 방식을 지향 등의 방향성 설정과 온실가스 감축 목표에 따라 연료전지 차량의 보급 목표, 그리고 이에 따른 수소 충전소와 같은 인프라 확충 계획 등이 타당성을 가진 숫자를 제시함으로써 체계적인 도시 개발 프로젝트 진행**

· 재생에너지원을 활용한 발전비중의 증가 시 발생할 수 있는 전력공급을 불안정성과 재생에너지원의 최적활용을 위해서 수소를 에너지 캐리어 또는 저장매체로 활용할 계획을 가지고 있음.

- 한계점

· 일본의 프로그램들과 달리, 수소에너지 사회를 목표로서 지향한다기 보다는 **수송에너지로서 수소 에너지의 활용을 주 목표.**

· 재생에너지 기반 사회의 구현 시 요구되는 에너지 저장 및 이송 방법으로서 수소를 활용하는 것을 고려하고 있음.

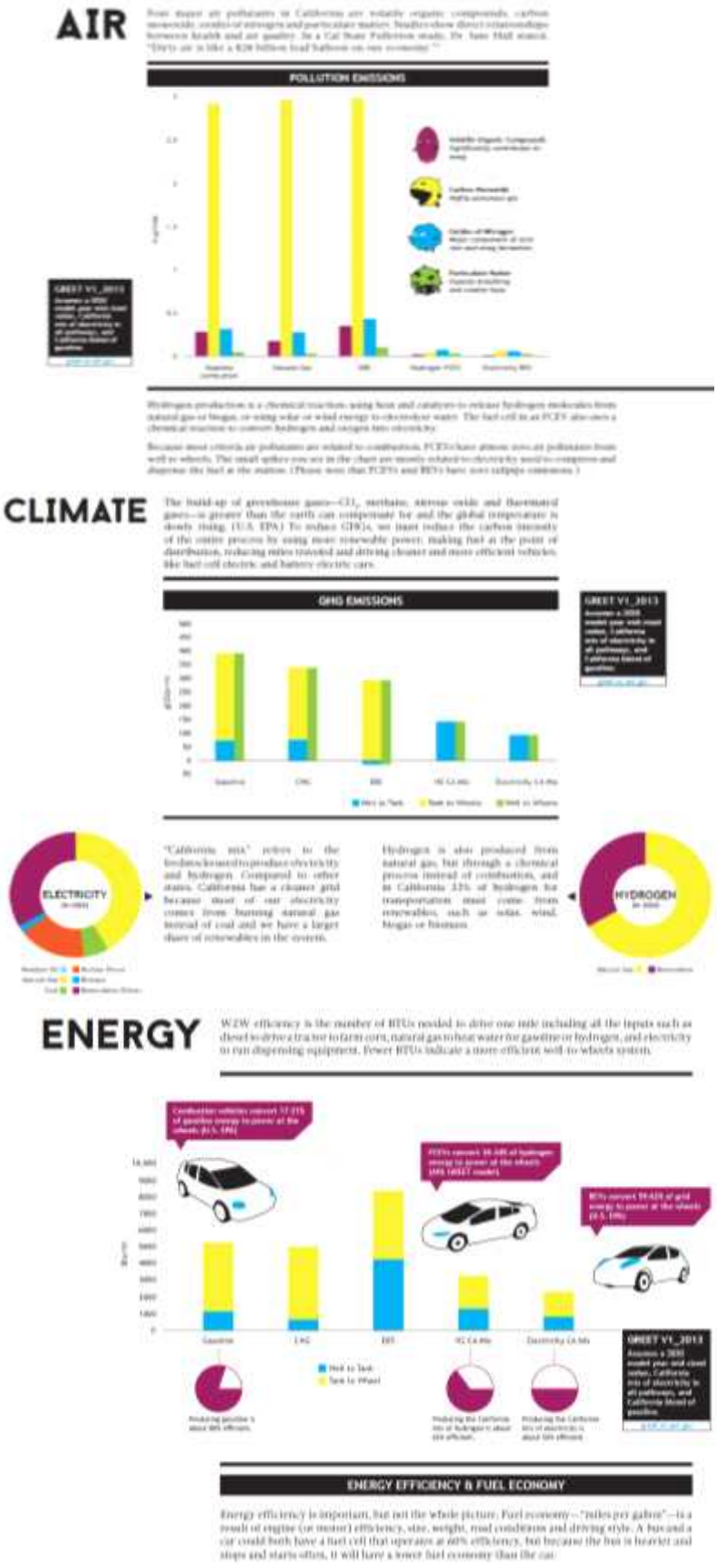


그림 26. 연료전지 자동차 사용에 의한 대기오염물질 발생 저감효과(상), 온실가스 저감 효과 예상 (중) 및 Well-to-wheel 효율 개념의 수송에너지 비교

○ **유럽**

– 수소에너지 인프라 개발관련 프로그램 개요

· 4년 단위 혁신연구 프로그램인 Framework Program(FP)에서 FP2 단계(1986 – 1990년)부터 FCH JU를 거쳐 현재 실행 중인 Horizon 2020의 FCH2 JU (Fuel Cells & Hydrogen Joint–Undertaking) 프로그램까지 11억 유로 이상의 연구비가 투입

· 수소 및 연료전지의 시장 보급 및 상용화 촉진을 위해 공공 영역과 회사들의 파트너쉽을 강화하는 프로그램들이 진행 중임.

· 수송, 산업 및 가정용 발전, 에너지 저장 등 **에너지 시스템 전 분야**를 걸쳐 수소 에너지의 비중을 높이고 **수소를 미래 사회의 주요 에너지 플랫폼으로 정의**

그림 27. EU의 FCH2JU 프로젝트 개요 (생산방법의 다양성)

– 시사점

· 연료전지 자동차와 수소충전소의 보급 : 2017년 기준 수소차 가격은 7만 유로 수준이고 2016년말 기준으로 500여대가 운영 중임. 그리고 시범 및 실증 사업으로 도입된 연료전지 버스의 경우 2016년 기준 67대가 EU 국가에서 운영 중임. 이러한 연료전지 자동차의 보급 확산을 위해서 연구 프로그램을 통해 수소

충전소의 요소 기술을 개발하고 표준화 및 상용화하는 것에 집중.

· H2Mobility(2015.1월 6개 수소연료전지 자동차 기업이 설립한 Joint Venture)를 통해 독일의 경우 2023년까지 4억유로를 투자하여 400개의 수소충전소(2015년 기준 100여개)를 구축하는 것을 목표

· (건물용 연료전지 발전시스템 보급)**연료전지로부터 발생하는 열과 전기를 모두 사용하여 에너지 사용효율을 극대화(약 80 % 수준)하는 combined heat and power 시스템의 보급을 목표**로 연구개발. 현 수준으로 5 kW 이하의 가정용 시스템부터 MW 규모의 산업용 시스템까지 보급

· (PtoG 연계)독일 등을 비롯하여 재생에너지의 비중이 높은 EU 국가의 경우 전력 공급의 안정성 제고를 위해 에너지 저장 및 캐리어로서 수소를 활용하고 있음. 독일은 이미 MW 규모의 알칼라인 수전해 및 PEM 수전해 시스템을 운영 중임.

· **Hydrogen Territories (수소구역)** : EU Horizon 2020 프로그램의 연구개발 과제 중 하나로 2015년부터 시작된 수소 에너지기반의 사회 구현을 위한 실증적 연구 프로그램. 현재, 스코틀랜드의 Orkney에서 BIG HIT(Building Innovative Green Hydrogen Systems in Isolated Territories, https://www.bighit.eu/about/)라는 이름의 프로젝트를 진행 중. 섬 지역에 설치된 풍력 발전기와 조력 발전기를 통해서 생산한 전기를 **MW 규모의 PEM 수전해 시설을 이용**하여 수소를 생산(연간 50 톤 규모)하고 가압한 수소 탱크를 페리선에 싣고 항구에 도착하면 75 kW 규모의 연료전지를 통해서 열과 전기를 지역사회에 공급하고 지역에서 사용 중인 10여대의 연료전지 자동차에 공급함.

- (시사점) 일본, 미국에 비해서 수소 및 연료전지와 관련한 에너지 시스템에 대한 관심을 보다 일찍 보이기 시작했고 이를 바탕으로 **수소 에너지 인프라와 재생에너지의 연계 등과 같은 종합적인 미래 에너지 포트폴리오 구축의 한 부분으로 수소 에너지를 효과적으로 활용하는 것에 더 초점**을 맞춤

- (한계점) 수소 및 연료전지의 보급 확산을 위해 30여년간 범국가적 프로젝트가 진행되어 온 덕분에 상당 수준의 요소기술에 대한 개발이 이루어졌고 이러한 요소기술들의 실증사업 및 상용화가 이루어질 정도로 TRL이 높은 단계이며, 재생에너지의 발전 비중이 높아짐에 따라 수소를 에너지원이자 저장 및 캐리어 수단으로서 활용하는 부분이 상당히 많음. 이러한 관점의 연장선 상에서 구현된 **"수소 구역" 프로젝트**에서도 **재생에너지 (풍력 및 조력) 기반의 수소 생산 기술(Power to Gas)을 구현**한 것으로 이해. 그러나 도시에서의 수소 에너지 공급이나 공공 건물용 및 가정용 수소에너지 활용에 대한 부분은 부분적인 연료전지 CHP 시설의 적용 수준에 그치고 있음. 따라서, 일본 및 미국과 같이, 수소 공급 인프라와 관련한 내용 중 가장 활발한 부분은 **연료전지 자동차의 보급을 위한 수소 충전소의 확충과 요소 기술의 개발에 집중**이 되어 있음.

그림 28. Alkaline 수전해 기술: 2 MW Power-to-Gas project 및 PEM 수전해 기술 1.5 MW Power to Gas project

기술개발 목표
• 천연가스, 바이오가스 또는 수소 등을 이용한 50 kW – 수 MW 수준의 열 및 전력 생산 시스템의 개발 • 연료전지 발전 시스템과 산업용 공정의 연계 • 실제 산업용 목적으로 설계된 실증용 유닛의 성능 평가 및 운전경험 확보 • 시스템의 상용화를 위한 비즈니스 모델, 서비스 전략 등을 개발하고 전과정평가(life cycle analysis) 기법을 활용한 시스템의 활용성 평가

그림 29. BIG HIT 프로젝트로 구현한 수소 도시 사례

2.3 시장 동향

○ 수소에너지 시장

– 국외

·현재 수소에너지 시장은 신재생에너지 시장에 포함되어 분석되지 않는 것으로 조사되었음. 따라서 자체 생산 등의 단독 시장을 가지고 있으나, 실제 연료전지 외에는 타 사용처에 대한 조사가 어려움

·Global trends and outlook for hydrogen은 향후 신재생에너지를 포함한 에너지 전체의 시장이 20년 이후 성장률이 감소하고 있는 상황에서 수소에너지는 저장이라는 특장점으로 인하여 성장가능성은 충분한 것으로 제시되고 있음. 즉 수소는 전기에너지 혹은 화석에너지의 투입이 필요한 연료로 경제성면에서는 불리할 수 있지만, 화석이나 신재생에너지의 경우 한번 생산된 전기는 비가역적인 에너지가 되나, 수소는 전기를 만들고 다시 수소로 재생될 수 있는 장점에서 잉여 전기의 저장이라는 특징을 가짐

·수소를 원료로 하는 산업은 약 1150억 $에서 2022년까지 1500억 $로 성장할 것으로 예측됨. 이 시장의 대부분은 화학약품 제조 (특히 암모니아)를 위해 사용되며, 기타는 이에 비해 비교적 소규모를 구성함.

·**수소의 제조**는 2016년 현재 천연가스로부터 가장 많이 생산되고 있으며, 오일과 석탄 등에서 주로 생산되는 등, **화석연료를 원료로 96%가 생산되**고 있음. 물을 원료로 하는 **전기분해**로부터 **4% 내외의 소규모로 생산**되고 있음

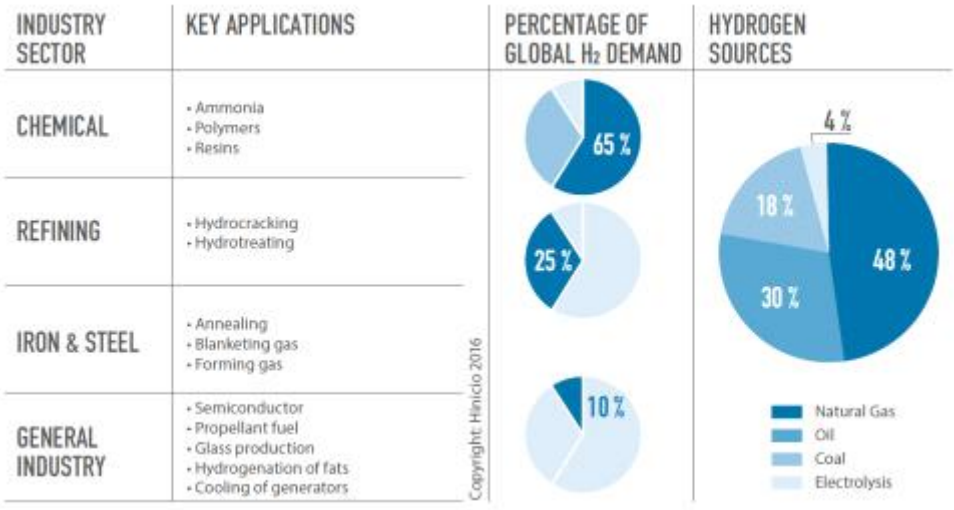


그림 30. 수소 산업 및 원료별 수소 생산 (Hydrogen from renewable power, IRENA)

·상대적으로 현재 시점에서 수소를 에너지로 활용하는 산업은 전체적으로 연료전지 및 전기차 시장과 연동될 수 밖에 없는 상황으로 그림 에서 보여주는 것처럼 **2020년 이후로 이 시장이 거대하게 성장할 가능성을 가지고 있음을 암시**함. 또한 미국 DOE에서 분석한 연료전지 시장현황에 따르면, 대부분의 연료전지는 수소 스테이션에 사용되었으나, 생산되는 전기는 대부분 교통을 위해 사용되었음. 또한 아시아의 시장이 지속적으로 발전되고 있음을 보여주고 있음

·**수소연료전지 자동차 시장은 2050년까지 꾸준하게 증가**될 것으로 전망이 되고 있으며, 이는 수소스테이션 보급수와 일치하는 것으로 조사됨. 전체 수소 자동차 보급이 급격하게 증가되는 2030년 이후 수소 충전소도 급격하게 증가될 것으로 예측됨.

·결론적으로 **수소연료전지는 수소자동차 시장 보급 정책에 따라 시장 성장이 결정**될 가능성이 높음.

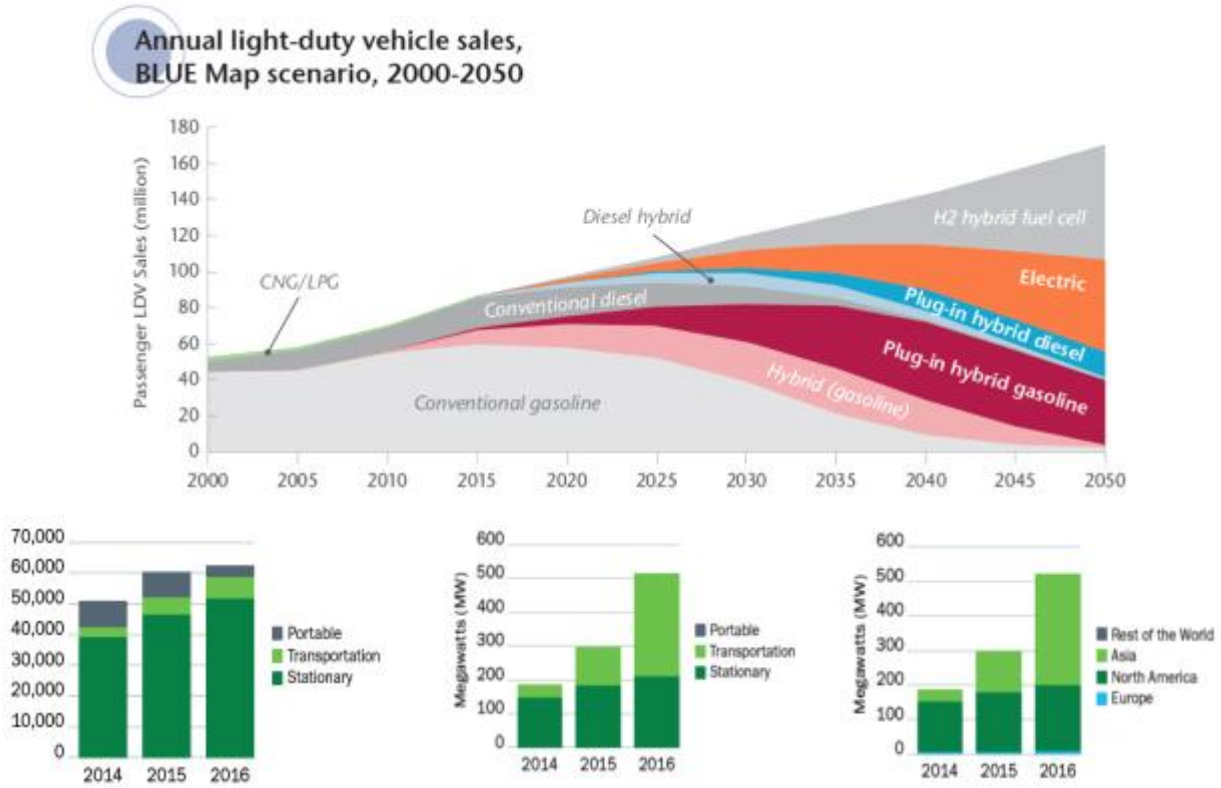


그림 31. 연료전지 자동차 개발 로드맵 및 2016까지 연료전지 시장의 성장 (Electric and Plug-in Hybrid Vehicle Roadmap, IEA & fuel cell market report, DOE)

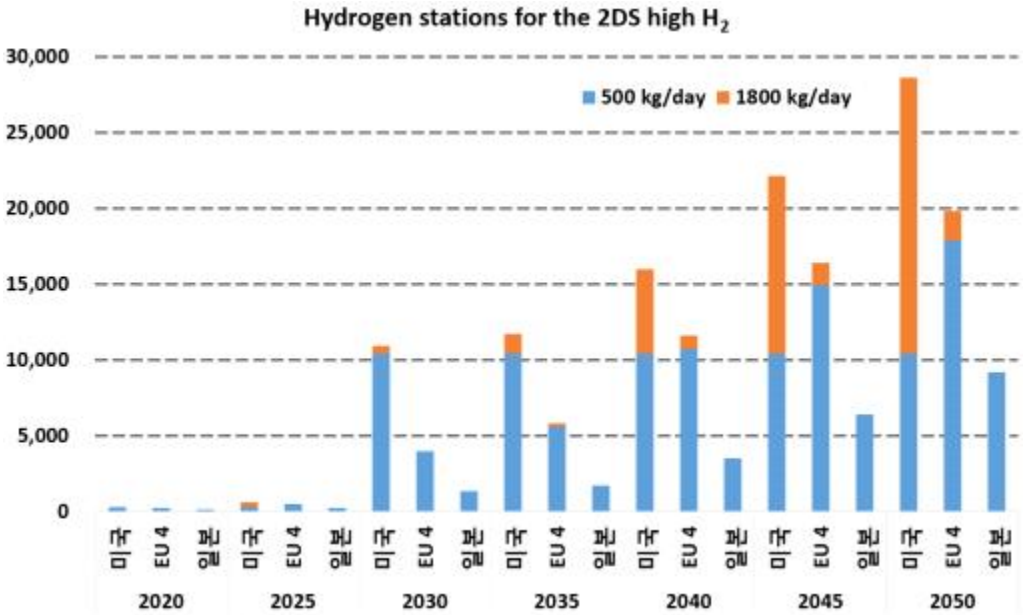


그림 32. 수소 충전소 보급 전망

- 국내

·수소시장 규모는 산업용 유통량만으로도 세계시장 $208억(자체소비량 230억 포함 총 $438억, 국내는 적어도 8,000억 원 수준이며, 석유화학산업, 전자, 재료, 반도체 제조공업, 제철공업 및 우주항공 산업 등에서 꾸준히 이용

·**(수소 공급가능량)** 조사 시기와 기관에 따라 다르지만, 그림 26과 같이 **연간 160만 톤 ~171만톤정도가 생산**되며, 대부분 자체 공정에서 소비하므로 이중 **22만 톤 정도를 시장 공급 가능한 양**으로 추측.

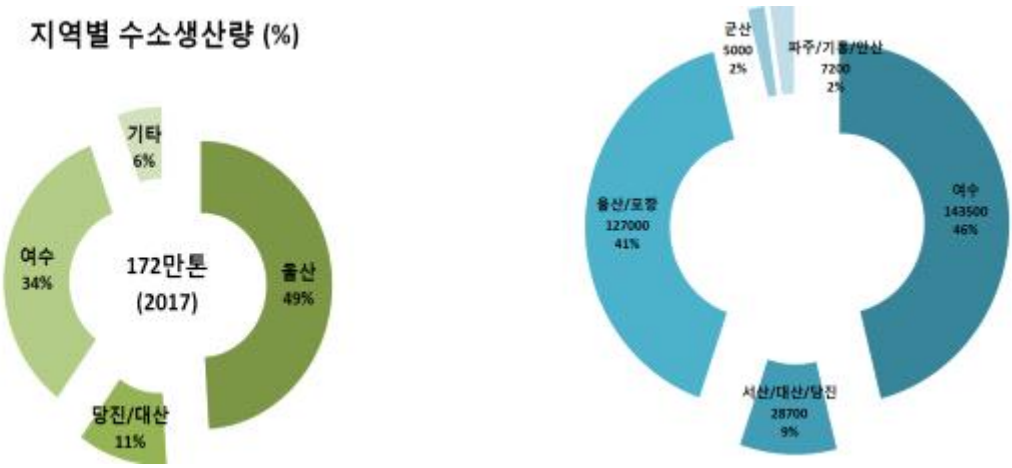


그림 33, 지역별 수소생산량 및 수소공급량 (2017. 신소재경제의 자료 활용하여 재구성함)

·**(수소제조 방식별 단가)** 나프타개질, 소금물전해, 천연가스 개질의 순이며, 공급단가는 배관, 튜브트레일러 등 공급방식과 양에 따라 다르지만, 대략 kg 당 3~6천원 수준이며, 현재 **충전소에서의 수소판매가격은 8천원/kg 내외**임.

·**(국내 수소생산 및 소비)** 2015년에서 2017년까지 2년간 수행된 한국에너지공단의 「부생수소를 활용한 실증단지 산업발전 로드맵 수립」 과제에서 주관기관인 한국수소산업협회는 NCN(울산전문경력인사지원센터)와 협력하여 국내 수소생산 및 소비 현황을 조사함. 2016년의 국내 수소생산량은 2,428,770 Nm³/h 로 생산설비의 연간 가동시간을 8,000시간(대략 330일)으로 가정했을 때 **약 171만 톤의 수소가 생산**되며, 대부분 **자체 공정에서 소비**하고, **약 14%(약 24만 톤)만이 외부로 판매**되고 있다고 보고됨

·(수소차 연료용 수소 공급의 잠재성) 시장공급 가능량중 이미 국매수요처에 판매하고 있는 물량을 제외 한다면 국내 **수소전기차에 연료**로 사용할 수 있는 수소의 **양은 12,216Nm³/h (8636톤/년)으로 5~6만대 정도의 수소전기차를 운행**하는 정도의 수준으로 평가됨.

표 1. 국내 산업용 수소중 유통판매량

업체명	원료공급처	지역	제조방식	생산능력(㎥/hr)	
				2017	비고
덕양	한화케미칼	여수	소금물분해	35,000	190,000* (덕양 홈페이지 자료)
	SK 어드밴스드	울산	프로판탈수소	10,000	
	롯데정밀화학	울산	소금물분해	13,000	
	한화토탈	서산	나프타분해	9,000	
	태광화학	울산	프로판탈수소	13,000	
	LG화학	여수	소금물분해	11,000	
	백광화학	군산	소금물분해	5000	
		여수	소금물분해	1500	
	롯데케미칼	서산	나프타분해	3000	
		여수	나프타분해	3000	
	롯데BP화학	울산	B-C분해	2500	
	덕양(울산3공장)(자체생산)	울산	NG(LPG)분해	50000	
	덕양(남동공단)*	인천		100	
	소계			156,100	
SPG케미칼	SPG케미칼	안산	메탄올개질	2000	
	현대제철	당진	COG정제	1500	
	롯데케미칼, LG화학	대산	나프타분해	10000	
	현대오일				
	롯데케미칼, LG화학	여수	나프타분해	45000	
	소계			58,500	

에어리퀴드	에어리퀴드1	여수	개질	10,000	
	에어리퀴드2	여수	개질	38,000	
	소계			48,000	
린데	린데	기흥	천연가스개질	1200	
	린데	포항	나프타분해	1200	
	소계			2,400	
SDG	대한유화	울산	나프타분해	5,300	
	태광산업	울산	나프타분해	2,000	
	효성	울산	프로판탈수소	6,000	
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	10,000	
	소계			23,300	
대성산업가스	대성산업가스	파주	메탄올	2000	
창신화학	롯데케미칼, LG화학	서산	나프타분해	5200	
SPG산업	롯데BP화학	울산	나프타분해	6,000	
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	8,000	
	효성	울산	프로판탈수소	2,000	
	소계			16,000	
총계**				311,500	

* 덕양 자료
** 총 유통가능량: 311,500㎥/hr은 24시간, 년 330일 가동 기준 220,275ton H_2/yr 에 해당 (자료: 신소재경제신문, 2018.3)
*** 24만톤 (부생수소를 활용한 실증화단지 산업발전 로드맵 수립, 한국에너지공단, 2017)

○ 건물 일체형 신재생에너지 시스템 시장

- 정부는 국가 에너지 전략의 핵심을 소비효율화와 함께 청정에너지의 확대에 두고 있으며, 각종 보급사업과 지원제도를 통해 2011년 기준 2.75%(이중 폐기물이 67.54%를 차지)인 1차 에너지원 중 신재생에너지원의 비율을 2035년까지 11%로 확대하고자 함.[1)]

- 제로에너지 및 플러스에너지 빌딩 건축물 시장

·정부 정책 전략에 따라 건물 에너지 자립을 위한 신재생에너지 이용은 불가피하며, 공공건물을 시작으로 건축물에 신재생에너지 사용은 의무화되고, 신재생에너지 인증제도 추진과 단계별 신재생에너지 공급·이용 의무비율이 지속적으로 강화되고 있음.

·정부에서는 2025년부터 제로에너지 건물을 의무화할 계획이며, 건물단위에서 제로에너지 건물을 달성하기 위해서는 패시브 기술과 액티브 기술 및 신재생에너지 기술의 접목이 필수적임.

·에너지절약형 건축물을 넘어 태양광, 지열 등 신재생 에너지를 통해 에너지를 자체적으로 생산, 사용하고 남는 에너지는 되파는 개념인 플러스에너지 건축물에

1) 제2차 국가에너지 기본계획, 2014.01

대한 연구 개발이 필요함.

·또한, 2021년까지 약 995억 달러 규모로 성장할 제로에너지빌딩 시장을 선점하기 위해서는 경제성이 확보된 제로에너지하우스 기술과, 내구성이 확보된 제로에너지원에 대한 연구 개발이 필요함.

표 2. 세계 에너지 신산업 품목별 시장규모 및 전망[2)]

(단위 : 억 달러)

구 분	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR(%)
마이크로그리드	182.4	237.05	308.1	400	520	676	30
제로에너지빌딩	806.7	841.4	877.5	915	954.3	995.4	4.3
수요자원시장	2.556	3.63	5.15	7.2	10.8	16.2	50
ESS활성화	4.096	6.55	10.5	16.7	26.7	42.8	60
미활용에너지	2.72	2.83	2.9	3.06	3.2	3.3	4

○ 건물일체형 태양광(BIPV) 및 태양열(BIST) 시스템 시장

- COP21 파리 선언이후, 선진국에서는 태양경제의 실현을 위한 신재생에너지 정책을 추진하여 에너지 위기를 극복하고, 동시에 지구온난화 방지를 추구하는 방향으로 나아가고 있음.
- 이러한 상황에서 태양광발전에 대한 대중적 인식이 확산되면서 다양한 형태의 태양광발전 시설에 대한 수요도 증가하고 있으며, 더욱이 도심지역은 부지 확보 문제에 따라 옥상이나 지붕 등 유휴 부지를 활용하는 방안으로 태양광발전 시설을 늘려가고 있음.
- 제한된 국토와 인구밀도가 높은 상황에서 태양광발전의 효율적 보급을 위해서는 건물의 지붕 및 건물의 입면 파사드에 태양광을 접합시키는 방법인 BIPV 기술을 사용하여 별도의 설치부지 없이 기존 건축외장재를 대체하여 비용 절감의 이중효과를 기대할 수 있음.
- 또한 BIPV 기술은 커튼월, 천창, 차양, PV 지붕 타일, 반투명 PV 창호 등 매우 다양한 형태로 개발 가능한 첨단 유망기술 분야이기 때문에 BIPV 상용화와 관련된 연구개발의 필요성에 대한 목소리가 높아지고 있음.
- 태양열 시스템은 급탕을 위한 지열 시스템 또는 태양광 모듈 겸용 사용 관련 기술 개발이 이뤄지고 있으며, 현재 하이브리드 구축 기술력 취약으로, 관련 기

2) 2030에너지 신산업 확산전략 자료 재가공/Markets and Markets, 2014

술에 대한 연구 개발이 필요함.

○ 신재생에너지산업

- 정부의 적극적인 지원을 바탕으로 기업의 신규 참여와 투자가 대폭 확대되고 있는 상태로, 관련 기업체 수는 2008년 134개에서 2013년 245개로, 고용인원은 2008년 6,496명에서 2013년 기준 11,962명으로 증가함.[3)]

- 매출액은 2008년 3.27조원에서 2013년 기준 7.5조원으로 약 2.3배 성장하였으며, 특히 태양광 분야의 대기업 및 중소·중견기업의 참여 빈도가 활발함.

- 국내·외적으로 신재생에너지 분야는 태양광과 풍력을 중심으로 정부정책과 시장규모가 형성되어 있으며, 건축 산업에서는 태양광, 지열, 태양열, 소형풍력 등 건축물 융/복합이 유리한 스마트 신재생에너지 시스템 분야의 기술 개발이 중요시 되고 있음.

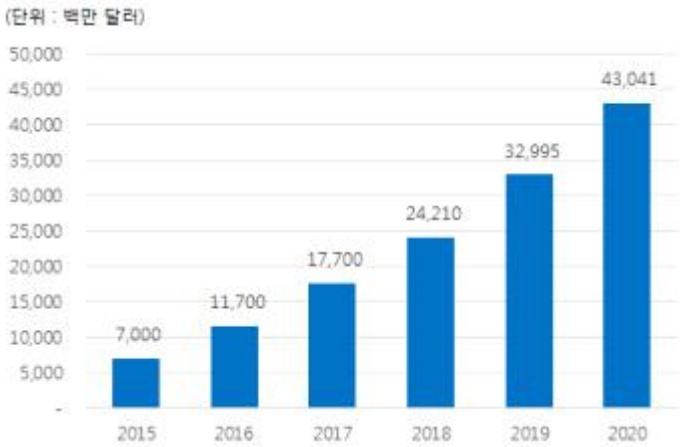


그림 34. 건물 일체형 신재생에너지시스템의 세계 시장규모 및 전망[4)]

- 2015년 1,063억 달러로 추정된 세계 태양광 산업은 정부의 지원 및 규제 그리고 지속가능한 발전에 대한 요구가 증가함에 따라 스마트 신재생에너지 시스템의 발전이 가속화되고 있으며 따라서, 미래 신재생에너지 산업 시장의 선점을 위해 태양광/열 및 신재생에너지자원을 이용한 핵심기술의 개발이 필요함.

- 건물 일체형 신재생에너지시스템의 시장규모도 지속적으로 성장하고 있으며 세계 시장 규모는 2015년 7,000백만 달러에서 2020년 43,041백만 달러 규모로 40% 증가할 것으로 전망됨.

- 또한 늘어나는 재생에너지원 비중에 따라, 기존 에너지 공급망과의 연계를 위한 **1) 재생에너지원의 자원량 예측 2) 에너지 수요 예측 및 공급 포트폴리오의 최적화 3) 수소 에너지를 이용한 재생에너지원**의 유연성 강화 등이 필요함.

3) 중소기업기술로드맵, 2017 (신재생에너지코리아 산업통계 2014)
4) 중소기업 기술로드맵, 2016

○ 도시 수소에너지 활용시장

- 수소연료전지 자동차라는 수송 분야를 제외하고, 국내 주택·건물용 연료전지 시장은 초기형성 단계이나 최근 공공건물 신재생에너지 설치의무화 제도, 서울시 녹색건축물 설계 기준 등으로 건물용 연료전지 시장이 본격화될 전망임.
- 주택·건물용 연료전지의 경우 주택지원사업 (그린홈 100만호 사업)을 중심으로 가정용 연료전지 열병합 시스템의 보급이 이루어지고 1kW급 소형 연료전지 누적설치량은 3천대 수준으로 확대됨.
- 연평균 8% 수준의 성장률과 함께 2020년에 최대 1,000억원이상 수준의 시장이 형성될 전망임.
- 정부는 발전용 연료전지도 2040년까지 15GW(내수 8GW) 보급을 목표로 함 (수소경제 활성화 로드맵, 20191.17)
- 에너지 프로슈머 시장 확대에 따라 개인 또는 건물 등에서 직접 생산한 소규모 전력이나 잉여 전력을 팔 수 있는 **분산자원 거래시장 확대가 전망되며 이는 수소에너지 플랫폼을 통해서 가장 친환경적이고 효율적인 방식으로 달성**될 것으로 예상하며 이를 통해 플러스에너지 건물의 보급도 확산될 전망.
- 그리고 잉여 재생에너지원을 이용한 수소의 생산과 재생에너지원 부족 시 저장한 수소의 활용을 통한 방법으로 재생에너지원의 활용률과 유연성을 제고하기 위한 시스템도 보급 중.

·일본 토시바의 규슈 호텔에 설치된 metal hydride를 이용한 수소저장 시스템은 잉여 전력으로 수소를 생산, 저장하여 전력 부족기간에 수소연료전지를 이용한 발전으로 재생에너지의 활용의 효율성을 극대화함.

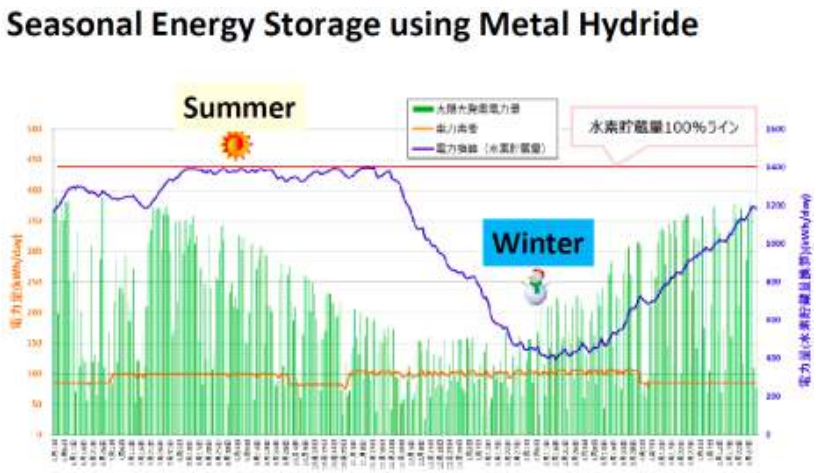


그림 35. 토시바의 규슈 호텔에 설치된 H2One 제품의 여름/겨울 계절 간 에너지 저장 이용 결과

·독일의 HPS Home Power Solutions GmbH는 Picea라는 팩키지형 제품을 통해 전력, 온수, 냉/난방을 제공하는 건물용 제품을 판매하고 있으며 이 제품은 PV, 수소제조/저장, 연료전지, 열저장을 통합하며 하나의 모듈에 연료전지, 배터리, 수전해장치, 수소저장과 관리시스템을 탑제한 형태임

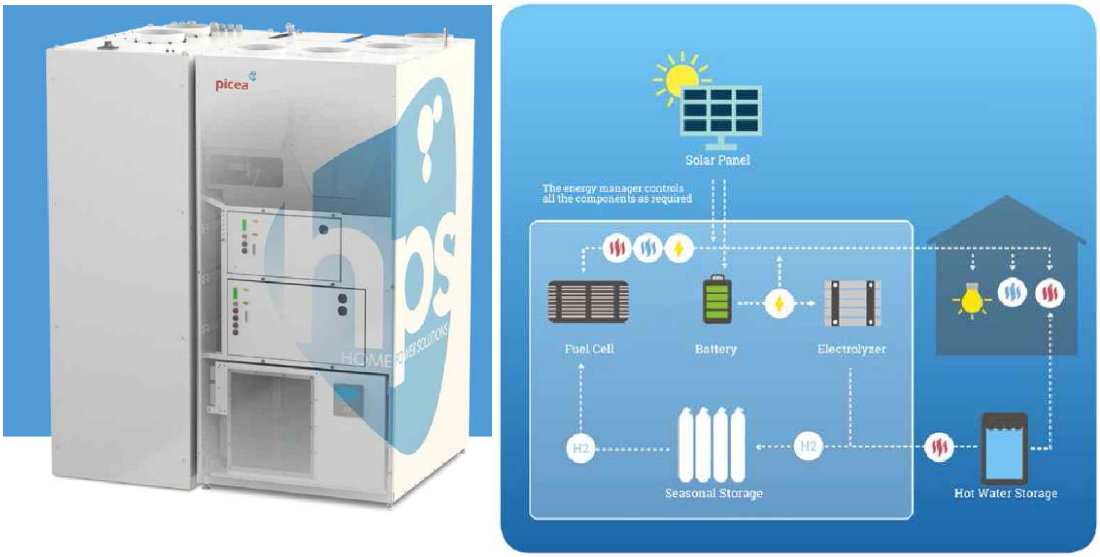


그림 36. 독일의 HPS사의 가정용 수소/밧데리 기반 에너지저장/공급 시스템

- 수송분야에서는 연료전지 승용차 및 버스의 보급에 대한 정부 계획 (수소경제 활성화 로드맵, 20191.17)이 발표되어 수송분야에서의 연료전지 시장도 크게 성장할 것으로 전망함.

그림 37. 수소차 보급계획 (수소경제 활성화 로드맵, 20191.17)

		2018년	2022년	2040년
모빌리티	수소차	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 이상 (290만대)
	승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
	택시	–	–	12만대 (8만대)
	버스	2대 (전체)	2,000대 (전체)	6만대 (4만대)
	트럭	–	–	12만대 (3만대)
	수소충전소	14개소	310개소	1,200개소 이상
	열차·선박·드론	R&D 및 실증을 통해 '30년 이전 상용화 및 수출프로젝트 추진		

* 위 수소차 목표는 내수와 수출을 포함한 생산량임

그림 38. 수소모빌리티 확산계획 (수소경제 활성화 로드맵, 20191.17)

2.4 국가정책 부합성

○ **국내 수소전략은** 그림 32에 있는 것처럼 **수소사회 진입을 위한 경제성 확보 전략**에 있음. 총 3단계로 구분되어 기반구축-경제성 확보-상용화 등으로 구성되어 제시됨

- **전체적인 방향성**은 **수소충전소와 수소차 위주의 산업 기반구축과 그 이후의 시장창출**로 되어 있음.

그림 39. 국내 수소 사회 진입을 위한 3단계 계획

○ 우리나라의 **전체 수소에너지 분야 기술수준**은 **최고기술 보유국(미국) 대비 77.7% 수준**이며, **기술격차는 3.9년**이며 **연료전지가 3.0년**으로 분석

○ 국가별 기술수준은 미국(100.0%) > 일본(99.9%) > EU(93.5%) > 한국(77.7%) > 중국(71.1%) 순으로 조사('16년 기술수준 평가 보고서, KISTEP)

○ 국가 R&D현황

- **(과기정통부)** 1989년 당시 과기처의 지원을 받아, 한국에너지기술연구원이 연구 총괄하여 수소관련기초연구(열화학/광화학/생물학적 수소생산, 수소저장, 안전기술 등 9개 과제)를 대학 및 연구소와 공동 수행하였으나 1단계(1989-92년)의 연구지원 (총 약 3.5억 원 규모)으로 중단된 이후 G7 과제에 채택되지 않음에 따라 산업부로 이관됨

표 3. 과기정통부의 대표적인 연구개발 사업 내용

사업명	사업기간 및 예산	내용
고효율 수소에너지 제조 저장 이용기술개발사업단 (수소에너지사업단)	2003.10~2013.3 국비 870억원	- 열화학, 광화학, 생물학적 수소제조 성능향상 - 금속· 수소화물 및 나노재료 등을 이용한 수소저장 기술 개발 - 리니어동력/발전(5kW) 및 수소센서 고성능화
자기냉각액화물질 사업단	2011~2016 2014년 40.3억원 2015년 42.3억원	수소액화기술, 액화물질 저장용기, 액화용기 건정성 평가 및 안전, 수소저장용 수소차단층,자기냉각재료 및 기술개발
차세대 수소에너지 원천기술개발	2015~2020년 총140억원 내외	- 세계 최고 수준의 수소생산 원천기술 확보 - 차세대 고용량 수소저장 원천기술 확보
수소융복합스테이션 신뢰성 측정표준기술개발	2017~2025 연 24억 내외	수소에너지의 민간보급과 안전한 수소사회 건설을 목표로 수소융복합스테이션 핵심 부품·소재 신뢰성 확보를 위한 측정표준 기술 개발
시장 보급형 고효율/컴팩트 가압 고순도 수소생산 유닛 집적화 설계기술 개발	2017~2022, 연 20억원내외	- 용량 : 500 kg/day, 개질효율 : 75% HHV 이상 - 고효율/컴팩트 반응기 및 흡착탑 모듈 원천설계 - 전처리, 개질 및 정제용 촉매 및 흡착제 원천소재 국산화 설계 - 열 및 시스템 통합 고순도 수소생산 유닛 최적구성 및 엔지니어링 설계 패키지
신재생 하이브리드 이용 미래에너지저장 기술	2016~2022 40억 내외 (4+3)	- 다차원 산화물 기반 양방향 중온 수전해기술 - 폐기물 이용 고온 스팀 생산 기술 - 신재생에너지 하이브리드 운영 고도화 기술 (다부처사업: 과기정통부,산업통상자원부, 환경부)

- **(미래부)** 1999년 새천년기획조사연구를 통해 수소에너지분야를 유망기술 후보로 선정, 수소에너지의 중요성을 인식하였으며, 2000년 “수소제조 기술개발 기획연구”를 거쳐 “고효율제조기술 개발사업”을 광화학수소, 생물학적 수소, 열화학적 수소 등 3개 분야에 대해 기술 개발을 시작함. “고효율수소제조개발사업(2000.10- 2005. 9)”을 3년간 25억 원을 투입한 후 2003년 9월 조기종료하고, 이 사업내용을 포함시켜, 2003년 10월부터 “21세기 프론티어사업”으로서, 9년 6개월간 연 1백억 원 규모의 투자 계획으로 “고효율 수소에너지제조저장이용기술개발사업단(이하 수소에너지사업단)”을 출범시켰으며, 2013년 9월 종료 후에도 표 7과 같이, 요소기술 분야에 지속적인 지원을 실시

- **(산업부)** 1988년부터 시작된 산업부의 대체에너지기술개발사업으로 수소분야의 연구지원이 이루어졌으며, 2000년대 이전의 대학중심 기초연구에서, 2000년 이후는 단기실용화위주로 개편. 수소연료전지사업단을 2004년 출범시켰으며, 미국이 주도하고 창설한 IPHE 뿐만 아니라 IEA-HIA에도 가입하는 등 수소연료전지 분야의 연구개발에 중점을 두었음. 이후 수소연료전지분야 연구를 계속해서 지원중임.

표 4. 산업통상자원부 수소분야 연구개발비 지원실적 (`10~`18) (단위 백만원)

연도	`10	`11	`12	‘13	‘14	‘15	‘16	‘17	‘18
연구비	2,881	3,499	1,850	4,460	2,250	5,100	9,900	10.800	9.800

(자료: 에너지기술평가원 신재생기획실 자료)

- **(울산시 수소시티 조성)** 부생수소 인프라를 활용한 친환경 시티 조성 사업으로 계획

· 공동주택, 공공건물에 10kW, 100kW급 수소기반 중앙집중식 연료전지시스템 구축
· 100kW급(1기) 연료전지 시스템 공동주택(LS 니꼬동제련) 설치 및 운영
· 중앙집중식 연료전지 구축하여 세대별 전기 공급 및 독신자숙소 등에 열공급을 통한 에너지 효율 극대화
· 10kW급(2기) 연료전지 시스템 공공건물(온산소방서) 설치 및 운영
· ICT 기반 통합 에너지 수요관리 및 안전모니터링 시스템 구축
· 수소품질 모니터링 및 품질 관리
· 수소배관 인프라 구축 및 가격경쟁력을 갖춘 수소 공급

표 5. 울산시 수소시티 조성을 위한 예산 투입 계획 (단위 백만원)

	계	`19	`20	`21	`22	`23	`24
계	4,840	3,140	340	340	340	340	340
국 비	1,702	1,702	-	-	-	-	-
시 비	2,563	1,213	270	270	270	270	270
민 자	575	255	70	70	70	70	70

○ 현 상황적 한계

- **전세계 수소에너지 관련 기술**은 수소의 생산-저장-이송-활용 등의 모든 면에서 **정립단계**에 있으나, 태생적으로 수소 생산을 위해서는 에너지가 투입되어야 하므로 **경제성 확보가 불투명한 상황**임

·**선진국의 기술 개발 초점**은 모두 시장이 형성되는 단계인 **자동차 산업 쪽으로 초점**이 맞추어져 있음

·대량 공급을 위한 생산 기술은 **경제적인 이유**로 인하여 **천연가스 개질 등 화석연료 개질에 초점**이 맞추어져 있으므로 실질적인 **"탈탄소"의 의미가 퇴색**되고 있음

- **선진국**의 수소경제를 위한 **수소인프라 구축계획의 중심도 실질적으로는 수소스테이션을 이용한 수소자동차 산업 증대**로 초점이 맞추어져 있음

· 부가적인 산업으로 fuel cell과 수소 자동차외 타 산업까지 확대 적용이 어려움

· 수소 생태계에 대한 가치사슬 등의 구조적인 생태 조성에 대한 진지한 고민이 없음

- **국내 산업 계획의 핵심**도 **수소차와 수소 스테이션 보급계획에 초점**을 맞추어져 있음

· 현 단계에서는 모든 수소에너지 공급의 방향성이 선진국과 유사한 기술력을 보유한 수소차 및 관련 분야에 치우쳐 짐

· 울산에서 추진한 모험적인 수소타운 조성은 한분야 즉 부생수소가 있을 경우에만 한하는 것으로 부생수소 발생량에 의존해서 사업 규모가 결정됨

· 따라서 **지속적으로 성장할 수 있는 모델 구성이 어려움**

- **기술 개발**이 발생분야, 이송분야, 저장분야, 연료전지 분야 등 개별적인 방향성

으로 추구되어 **통합 system적인 면이 부족함**

· 각 분야에 있어 개발된 기술의 연계와 조합에 대한 고찰이 없어 단편적인 개발에 그치고 있음

· **수소 자동차 분야처럼 수소 활용을 위한 생태사슬을 도출**함으로써 큰 그림에서 기술개발 구성이 이루어지도록 추진해야 함

- 도시라는 측면에서 다양한 분야로 확대 적용을 위한 에너지 패러다임의 전환을 위한 개념을 정립할 필요가 있음

- 수소 도시/생태계 구현은 새로운 에너지원 공급정책이 우선되어야 하며, 이는 민간영역이 아닌 국가적 차원의 대규모 사업이 될 수 밖에 없음

· 현 모든 국가를 구성하는 화석연료 체계를 벗어나 새로운 에너지정책 국면을 맞이하는 것은 산업계에서 추진할 수 있는 영역이 아님 – 국가 차원의 로드맵 개발이 필요함

· 현재, **재생에너지 사용량의 제고**를 위한 정책의 가속화를 위해서도 수소 에너지 기반의 에너지 생산–저장–활용–공유 플랫폼을 통한 에너지 시스템의 정립과 구현이 요구됨

○ **수소도시라는 에너지 시스템의 실현을 통해 재생에너지원을 이용한 분산전원 공급 계통안정성 확보와 신산업 육성 및 창출**을 위한 네트워크를 이용한 에너지 전환/저장관련 기술개발 필요성 확대

- 에너지 프로슈머(energy prosumer)

· 아파트 단지, 단독주택, 빌딩 등에서 태양광, 풍력 발전 시설로 개인 등이 생산한 소규모 전력을 직접 사고팔 수 있음.

· 에너지 프로슈머 확산을 위해 신재생에너지 발전이나 지능형 전력망 등을 통해 전력을 자체 생산한 후 소비하는 독립적 전력 시스템인 마이크로그리드 사업도 확대됨.

· 에너지 프로슈머가 확산되며 자발적인 온실가스 감축 환경 조성

· 또한, 신재생에너지와 단열기술을 접목한 제로에너지빌딩을 공공주택에 시범 적용하고, 이를 기반으로 2025년부터는 신축 건물의 제로에너지 빌딩을 의무화함.

· 이상과 같은 국가 정책에 부응하기 위해 신재생자원 예측기술이 적용된 프로슈머형 제로에너지하우스 구축을 위한 기술 개발에 박차를 가하고 있음.

- 지속가능한 신재생 에너지 시스템 구축

· **수소를 매개체**로 생산된 신재생에너지를 저장하고 필요할 때 사용하는 에너지저장 시스템은 에너지의 효율적 이용과 기존 전력시스템 안정화에 필요함.

· 불안정한 신재생 전력의 계통안정화 가능하고 이를 통한 신재생에너지 보급 확대 가속

○ 정부의 3대 혁신성장 전략투자인 수소경제의 조기 구현 모델: 수소 도시 인프라 기술개발 및 실증을 위한 신규 지원 필요

○ 수소에너지 플랫폼 구축과 관련한 민간 영역의 투자 활성화에 호응하여 정책적 효과를 극대화할 필요가 있음.

- 하이넷 : 수소충전소 보급사업을 위한 특수목적법인 하이넷이 2019년부터 출범하여 한국가스공사를 비롯한 14개 사가 참여, 1350억원을 출자함
- 지자체 수소에너지 관심제고 : 울산광역시의 수소타운 사업 및 수소도시계획 선포, 대전광역시의 수소산업전주기실증센터 구축 등으로 탈탄소 친환경 수소경제의 구축에 대한 관심이 제고됨.

3. 연구개발 목표 및 연구내용

3.1 연구개발 목표

<table>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">수소 시범도시 적기 구축('22년)을 위한 국산화 기반의
도시 인프라 기술개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">개요</td><td>지원규모</td><td>■ `20년 내역 2개, 과제 1개, 예산 7,000백만원
■ 신규 1개(6,723백만원), 기획평가관리비(277백만원)</td></tr>
<tr><td>지원범위</td><td>■ 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연
■ 참여기업이 있는 경우 Matching</td></tr>
<tr><td rowspan="3">중점
지원
분야</td><td>분야</td><td>주요내용</td></tr>
<tr><td>수소 시범도시
인프라 기술개발</td><td>■ 도시형 수소 생산-저장-공유 시스템 설계 및 실증
■ 수소 생산형 플러스 에너지 하우스 설계기술 개발 및
실증</td></tr>
<tr><td>기획평가관리비</td><td>■ 사업(과제) 기획, 평가, 관리, 성과활용 등의 업무 수행에
필요한 소요경비</td></tr>
</table>

□ 연구개발과제 구성

○ (1세부) 수소 타운형 수소 공급-활용 및 재생 에너지 믹스 기술 실증

- (목표) 수소 하우스 타운 내 수소기반 에너지 공급-저장-활용 및 재생에너지 연계 통합 시스템 개발 및 실증(신재생에너지 자립률 100% 달성)

- (개발기술)

·재생에너지 연계 수소 생산-저장- 활용 인프라 설계 및 실증
·재생에너지-연료전지 연계 전기 저장 시스템 설계 및 실증
·재생에너지-연료전지 연계 열 저장 시스템 설계 및 실증
·수소생산/저장/활용 시스템에 대한 안전 보강 연구 및 안전 보강시스템 구축

○ (2세부) 수소 에너지 통합 네크워크 및 수소하우스 기술개발

- (목표) 수소 타운 내 생산하는 재생 전기와 연료전지 열에너지 최적화 기술 개발 및 수소하우스 개발, 실증

- (개발기술)

·수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 설계 및 실증

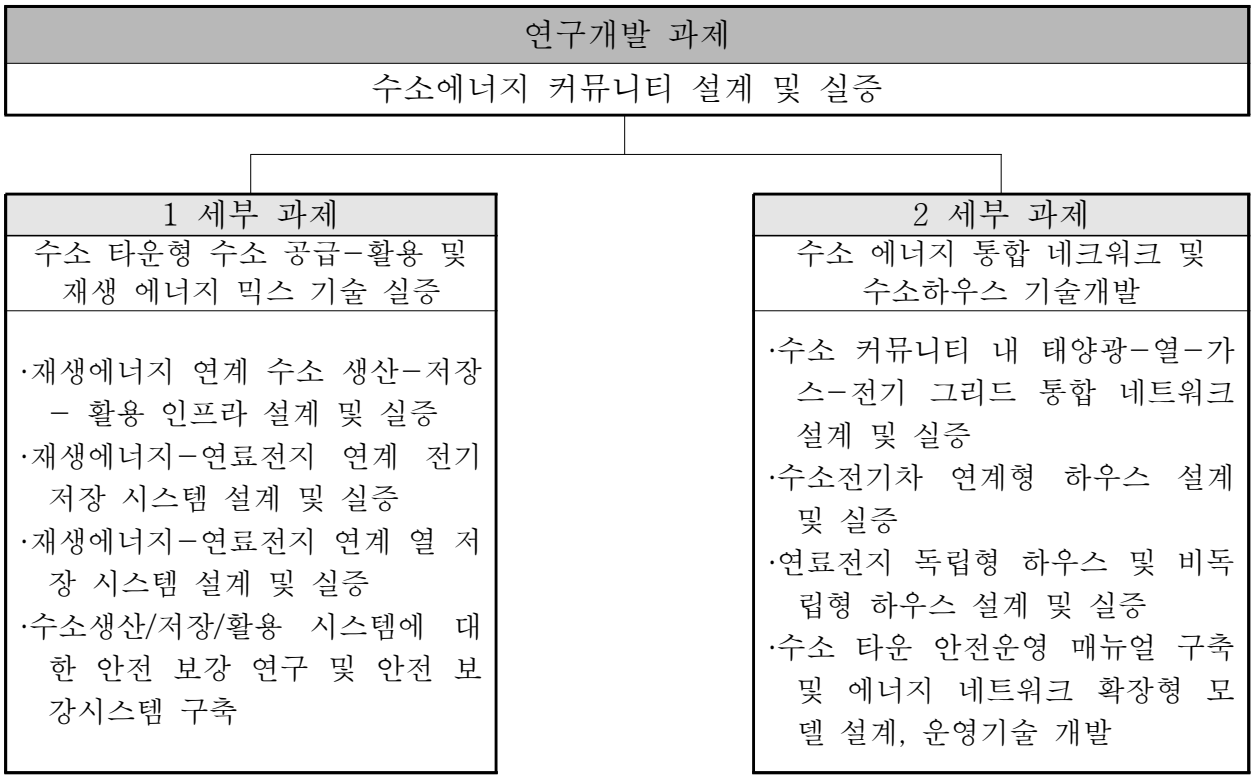
·수소전기차 연계형 하우스 설계 및 실증

·연료전지 독립형 하우스 및 비독립형 하우스 설계 및 실증

·수소 타운 안전운영 매뉴얼 구축 및 에너지 네트워크 확장형 모델 설계, 운영기술 개발

3.2 연구단 구성 및 세부과제 내용

□ 연구단 구성



□ 과제 총연구비 : 17,326백만원*(정부 : 17,326백만원/민간 : 미정)

[백만원]

구 분	총연구비	'20	'21	'22	'23
정부투자 실적·계획	17,326	4,000	5,714	5,691	1,921

*기획평가 관리비 포함

□ 세부별 연구비 편성 계획 : 총 2개 세부과제로 구성한 연구단 (1, 2세부 모두 산학연으로 구성)

[백만원, %]

구 분	총연구비	`20	‘21	‘22	‘23
1세부	8,147	2,021	2,364	2,861	901
2세부	9,179	1,979	3,350	2,830	1,020

*** `23년은 개발된 성과물의 운전 실증으로 연구개발비 감소**

4. 세부추진계획

4.1 세부과제별 추진계획

1세부	수소 타운형 수소 공급-활용 및 재생 에너지 믹스 기술 실증
□ 목표 및 내용	
목표	수소 하우스 타운 내 수소기반 에너지 공급-저장-활용 및 재생에너지 연계 통합 시스템 개발 및 실증(신재생에너지 자립률 100% 달성)
주요 연구내용	① 재생에너지 연계 수소 생산-저장-활용 인프라 설계 기술 개발 ② 재생에너지-연료전지 연계 시스템에서의 전기 및 열 저장 시스템 설계 기술 개발 ③ 안전한 수소 활용을 위한 안전 모니터링 및 비상 조치 운전 기술 개발

□ 기술개발 최종 성과물

· 재생에너지 연계 수소 생산-저장- 활용 인프라 설계 및 실증
· 재생에너지-연료전지 연계 전기 저장 시스템 설계 및 실증
· 재생에너지-연료전지 연계 열 저장 시스템 설계 및 실증
· 수소생산/저장/활용 시스템에 대한 안전 보강 연구 및 안전 보강시스템 구축

□ 세부과제 예산

연구비	'20 주요연구내용		'21 주요연구내용		'22 주요연구내용		'23 주요연구내용	
소계	내역	소요	내역	소요	내역	소요	내역	소요
4,397	◦재생에너지 연계 수소 생산-저장-활용 인프라 설계 및 구성요소 개발	1,021	◦재생에너지 연계 수소 생산-저장-활용 인프라 제작 완료 및 단품 성능 검증	1,364	◦재생에너지 연계 수소 생산-저장-활용 인프라 부하변동 운전 및 최적화	1,561	◦통합시스템 운전 실증 및 안전 모니터링	451
1,720	◦재생에너지-연료전지 연계 전기 저장 시스템 설계	450	◦재생에너지-연료전지 연계 전기 저장 시스템 제작 완료 및 단품 성능 검증	450	◦재생에너지-연료전지 연계 전기저장 시스템 부하 변동 연계 운전 및 최적화	600	◦통합 실증 운전 시험 및 안전성 모니터링	220
2,030	◦재생에너지-연료전지 연계 열 저장 시스템 설계	550	◦재생에너지-연료전지 연계 열 저장 시스템 제작 완료 및 단품 성능 검증	550	◦재생에너지-연료전지 열 저장 시스템 부하변동 및 연계 운전 최적화	700	◦통합 실증 및 안전 모니터링	230
8,147		2,021		2,364		2,861		901

단위: 백만원
* 기획평가관리비 포함

□ 기대효과

- 재생에너지 기반의 플러스 에너지하우스에서 생산된 잉여 에너지를 수소를 매개체로 저장-공유-활용할 수 있는 플랫폼 구축
- 수소에너지를 통한 재생에너지원의 활용성 강화
- 연료전지를 이용한 전기 및 열공급 시스템 구축 및 실증으로 재생에너지 및 수소에너지 사용 효율 극대화

2세부	수소 에너지 통합 네크워크 및 수소하우스 기술개발

□ 목표 및 내용

목표	**수소 타운 내 생산하는 재생 전기와 연료전지 열에너지 최적화 기술 개발 및 수소하우스 개발, 실증**
주요 연구내용	① 수소타운 내 태양광, 열, 가스 및 전기 등 다양한 에너지원들의 통합 네트워크 구축/실증 ② 가스-전기 그리드 연계형 및 독립형 수소하우스 운영 및 최적화 기술 개발 ③ 수소 타운 수소에너지 이용에 관한 안전운영 매뉴얼 구축 및 에너지 네트워크 확장형 모델 설계, 운영기술 개발

□ 기술개발 최종 성과물

· 수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 설계 및 실증
· 수소전기차 연계형 하우스 설계 및 실증
· 연료전지 독립형 하우스 및 비독립형 하우스 설계 및 실증
· 수소 타운 안전운영 매뉴얼 구축 및 에너지 네트워크 확장형 모델 설계, 운영기술 개발

□ 세부과제 예산

연구비	'20 주요연구내용		'21 주요연구내용		'22 주요연구내용		'23 주요연구내용	
소계	내역	소요	내역	소요	내역	소요	내역	소요
3,243	◦수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 설계 및 제작 착수	775	◦수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 제작 완료 및 단품별 성능 검증	1,006	◦수소 커뮤니티 에너지 공유 네트워크 시운전, 최적 운용 방법 및 네트워크 확장모델 개발	842	◦수소 커뮤니티 에너지 공유 네트워크 실증 및 안전성 모니터링 등 운영기술	620
2,855	◦수소전기차 연계형 하우스 설계 및 건설 착수	551	◦수소전기차 연계형 하우스 건축 완료 및 부하변동 에너지 데이터 수집	1,072	◦시간별 전기에너지 공유 방법 최적화 및 실증 착수	1,032	◦커뮤니티 연계 수소 수소전기차 하우스 실증 및 안전성 모니터링 등 운영기술	200
3,081	◦연료전지 독립형 하우스 및 부하형 하우스 설계 및 건설 착수	653	◦연료전지 독립형, 부하형 하우스 건축 완료 및 부하 데이터 수집	1,272	◦PV-연료전지 연계형 고효율 냉난방/환기 시스템 개발 및 실증	956	◦연료전지 독립형 및 부하형 하우스 커뮤니티 연계 실증 및 안전성 모니터링 등 운영기술	200
9,179		1,979		3,350		2,830		1,020

단위: 백만원
* 기획평가관리비 포함

□ 기대효과

- 재생에너지 기반의 플러스 에너지하우스를 커뮤니티 레벨로 확장하여 프로슈머 개념이 도입된 새로운 도시 에너지 시스템 제안
- 연료전지를 이용한 전기 및 열공급 시스템 구축 및 실증으로 커뮤니티 단위의 재생에너지 및 수소에너지 사용 효율 극대화

4.2 세부과제간 기술연계성

□ 수소생산 플러스에너지하우스 및 수소커뮤니티 플랫폼 기술

○ 다양한 신재생에너지 융복합기술을 통해 130% 에너지 플러스 수소하우스 구축

○ 발전용 연료전지를 이용한 전기 및 열 공급 네트워크 구축

그림 40. 신재생에너지원을 이용한 플러스에너지하우스 구축을 위한 적용 요소기술

그림 41. 건물용 수소연료전지 발전 시스템 플랫폼

○ 커뮤니티단위 부하관리 운영프로그램 및 생산된 수소의 공유, 저장을 위한 인프라 구축필요

○ 커뮤니티단위 개념 확장 모델 및 시스템 최적화 운영기술 필요

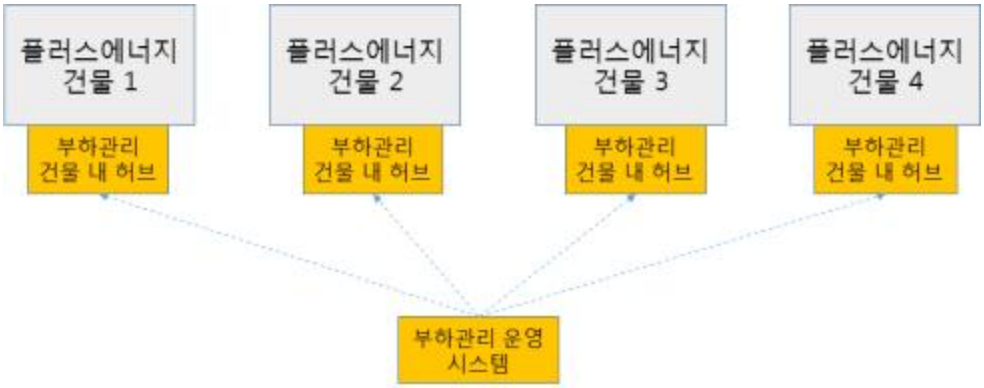


그림 42. 플러스 수소에너지하우스로 구성된 커뮤니티의 최적 운영을 위한 개념도

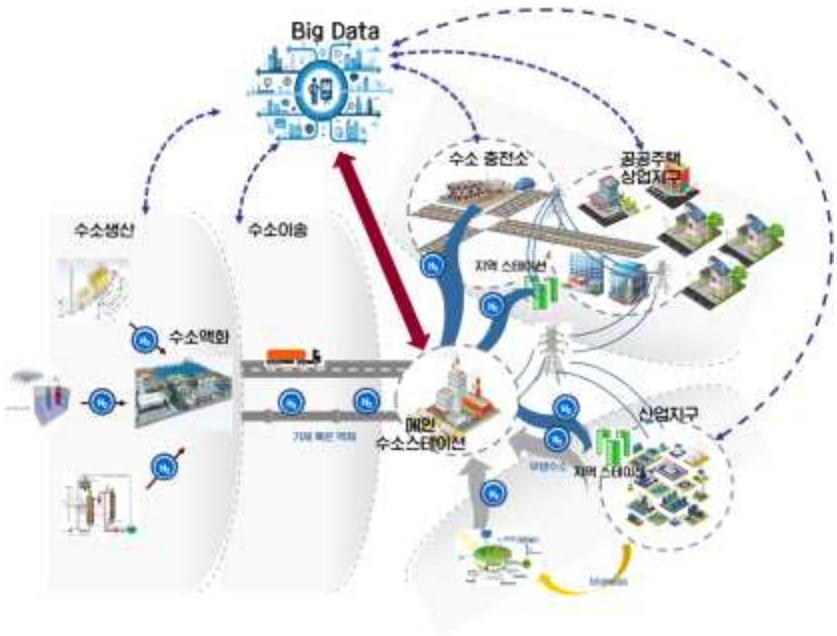


그림 43. 도시 단위로 구축되는 수소 생산 플러스에너지하우스와 수소에너지 생태계개념도

그림 44. 수소도시의 에너지 활용 네트워크 구현: 수소 생산-저장-활용 기술의 연계로 수소에너지 생태의 구축 예

□ 재생에너지 활용 효율 제고와 수소 기반의 미래 에너지 패러다임, “수소경제”실현

○ 수소를 매개체로 한 에너지 생산-저장-공유 플랫폼을 통해 재생에너지의 안정적 보급과 분산발전용 마이크로 그리드를 통한 전력안정화에 기여

- 한국전력공사는 지난 2016년 '변동성 전원의 계통영향 평가 및 대책방안 연구'에서 ‘신재생에너지 발전량 비중이 11.7%로 확대되면 2024년부터 주파수 변동이 계통의 수용한계를 넘어선다’고 결론.
  * 출처 : 에너지데일리(http://www.energydaily.co.kr)
- 잉여 전력의 수소 저장-활용-공유로 재생에너지원의 사용 효율 및 유연성 제고
- 주거 및 도시 단위에서의 에너지 믹스 포트폴리오 최적화로 탈탄소 에너지 사회 구축
- **수소를 기반으로 하는 에너지의 생산-저장-활용-공유를 통해 프로슈머 개념이 도입된 새로운 분산전원 기반의 에너지 생태계가 구축됨. 수소경제의 실현.**

4.3 기술로드맵

1차년도
2차년도
3차년도
4차년도
1 세부
수소타운형 수소 공급·활용 및 재생에너지 믹스 기술 실증
재생에너지 연계 수소 생산-저장-활용 인프라 설계
제작 완료 및 단품 성능 검증
연계 운전 및 시스템 최적화
실증 및 안전모니터링
재생에너지-연료전지 연계 전기 저장시스템 설계
제작 완료 및 단품 성능 검증
연계 운전 및 시스템 최적화
실증 및 안전모니터링
재생에너지-연료전지 연계 열 저장시스템 설계
제작 완료 및 단품 성능 검증
연계 운전 및 시스템 최적화
실증 및 안전모니터링
2 세부
수소 에너지 통합 네트워크 및 수소하우스 기술개발
수소 커뮤니티 내 태양광-열-가스-전기 그리드 통합 네트워크 설계 및 제작
제작 완료 및 단품 성능 검증
수소 커뮤니티 에너지 공유 네트워크 시운전, 최적 운용 방법 및 네트워크 확장모델 개발
실증 및 안전모니터링
수소전기차 연계형 하우스 설계 및 건설
건축 완료 및 부하변동 에너지 데이터 수집
시간별 전기에너지 공유 방법 최적화 및 실증 착수
실증 및 안전모니터링
연료전지 독립형 하우스 및 부하형 하우스 설계 및 건설
연료전지 독립형, 부하형 하우스 건축 완료 및 부하 데이터 수집
PV-연료전지 연계형 고효율 냉난방/환기 시스템 개발 및 실증
실증 및 안전모니터링

5. 정부지원 필요성

5.1 정부정책과의 정합성

- **정부의 3대 혁신성장 전략투자인 수소경제의 조기 구현 모델: 수소 도시 인프라 기술개발 및 실증**을 위한 신규 지원 필요
- 재생에너지의 보급 확대(RE 3020)에 따라 **ICT 기술-재생에너지 발전-수소에너지 시스템을 융합하여 에너지의 생산-저장-이용이 용이한 수소경제 플랫폼을 구축**하여 탈탄소 에너지 사회로의 전환을 요구하는 시대적 요구 및 정부정책에 부합
- **수소에너지 플랫폼 구축과 관련한 민간 영역의 투자 활성화**: 수소충전소 보급사업을 위한 특수목적법인 하이넷이 2019년부터 출범하여 한국가스공사를 비롯한 14개 사가 참여, 1350억원을 출자함
- **지자체 수소에너지 관심제고** : 울산광역시의 수소타운 사업 및 수소도시계획 선포, 대전광역시의 수소산업전주기실증센터 구축 등으로 탈탄소 친환경 수소경제의 구축에 대한 관심이 제고됨
- 현재까지 국내외 진행되고 있는 수소 도시 실증 연구는 대부분 수소 충전소와 수소 전기차, 버스를 이용한 보급 실증과 가정과 건물에 연료전지를 이용한 **단편적인 시범 보급의 수준**에 머무름.
- 수소 사회의 구현을 위해 기존의 **에너지시스템과 융합할 수 있는 플랫폼 개념을 정립하고, 실증을 위한 시민 참여형 연구**가 필요

5.2 기존 유사사업과의 연계성 및 차별성

부처명	사업명(과제명)	총 연구기간	총 연구비	연계성 및 차별성
국토부	제로에너지 주택최적화 모델개발 및 실증단지 구축	2013 ~ 2018	180억원	(차별화) 5대부하에 대한 자립율 및 태양광, 지열 위주의 에너지공급 개발이나, 신규 개발기술은 5대부하 및 플러그 부하를 포함한 에너지 자립율 130% 이며 에너지 부하 추종이 가능하고 수소를 이용한 에너지 저장 및 연료전지 활용이 가능한 기술 개발 임. (연계성) ZEB 설계·시공 등 패시브 기술 연구성과 활용
과기부	친환경에너지타운	2015 ~ 2018	135억원	(차별화) 기존 기술은 태양광을 이용한 전력 공급, 태양열 및 지열을 이용한 냉난방 및 온수 공급에 활용하여 Net Zero 에너지 자립율 100% 달성이 목표이나 신규 개발기술은 전기, 열 외 수소를 이용한 연료전지 전력생산 및 중장기 수소 저장을 활용한 부하대응 가능의 차별성을 가짐. (연계성) 커뮤니티 규모를 대상으로 신재생에너지이용 에너지 자립율 100% 달성
과기부	차세대 신재생 융복합 건물에너지기술	2017 ~ 계속	4억원 (2017 ~ 2018)	·(차별화) 태양광 및 연료전지를 활용한 플러스에너지 하우스 개념 설계 및 설계도면 확정하였으나 실제 플러스에너지 하우스 건설 및 실증운전 미 실행하였음. ·(연계성) Net 플러스에너지 하우스 설계기술 연구성과 활용
산업부	울산 수소타운	2012 ~ 2018	88억원	(차별화) 산업용 부생수소를 활용하고 주거용 연료전지를 보급하여 수소타운 모델을 제시하였으므로 재생에너지원을 활용한 플러스에너지하우스 모델로 에너지 소비자와 생산자의 구분이 없어지는 본 연구개발 내용은 진보성과 차별성이 있음. (연계성) 건물용 연료전지의 운영을 통한 전기와 열에너지의 동시 공급

6. 기대효과 및 활용 방안

6.1 기획연구 방법의 창의성 및 혁신성

□ 사업추진체계 분석

ㅇ 산/학/연 등의 전문가 및 지자체의 수요 등을 통한 사업의 적절성 판단

- 중점 추진분야 별 사업의 범위를 결정하고 이에 따른 사업 추진계계를 분석
- 사업 추진계계 별 장단점을 분석하고 적절한 운영체계를 수립

ㅇ 사업단과 연구단 등으로 제한하지 않고 소규모의 과제에서부터 모든 가능성을 염두에 두고 평가

- 테스트베드/리빙랩 별 분리발주/통합 발주 등에 따른 전체 사업운영체계를 전문가집단/사업관리 기관 등과 함께 평가

□ 타부처 및 지자체 협력 방안

ㅇ 타부처 수소기술 개발 계획 등의 중점 전문가들과의 네트워크 구축

- 현행 수소관련 기술개발 로드맵 작성중인 타 부처의 전문가 들을 초청하여 기술개발에 대한 의견 수립

ㅇ 타부처와의 공동 공청회 혹은 협의회 추진

- 현행 수소관련 부처내 담당과와 함께 공동 공청회 혹은 협의회를 개최함으로써 상호 협력 방안을 추진

ㅇ 국내 지자체 및 시에 대한 공동참여 위원회 (가칭) 준비

- 기획위원회와 함께 관심이 있는 모든 지자체/시와 함께 논의의 장을 마련할 수 있는 공동참여 위원회 (가칭)을 준비
- 기획 시작시 1개월 이내에 관심 지자체/시 등에 대한 공청회를 실시하여 공동참여 위원회를 발족

□사전 기획의 차별화 방안

ㅇ 타부처 수소기술에 대한 기획보고서 및 기술개발 로드맵 분석을 통한 차별화 추진

- 타부처 혹은 민간 수소기술/경제에 대한 기획보고서 및 기술 로드맵 분석을 통한 차별화 포인트 및 기술 진보 포인트 수립
- Fuel cell과 수소연료전지 자동차에 치우친 기획에 대해서 폭넓은 활용성을 확

보하기 위하여 폭넓은 기술 범위를 설정하고, 각 지자체 수요에 적합한 기술 트리를 작성

그림 45. 주민/지자체/산업단지 참여 및 타부처 협력 방안

○ 기술개발 중심의 테스트베드 건설에서 기술 수요 중심의 리빙랩으로 기획 차별화

- 타부처의 기획은 기술의 제품화에 초점이 맞추어지며, 국토교통부는 제품의 통합을 통한 system화에 초점이 맞추어져 기획됨
- 본 기획은 기술 개발 이후의 system화 보다는 system 활용을 위한 수요자 중심의 기획을 함으로써 사후 활용도에 초점을 맞추어 기획될 예정
- 현 스마트시티 기획을 참고하여 전체 도시 구성에 있어 핵심이 되는 리빙랩 중심의 테스트베드를 구성하여 지속적 활용성을 강조

○ 연구개발자 시선의 기획에서 수요자의 시선을 추가한 전주기 사전기획 범위 설정

- 본 기획과 원활한 연계를 위해서 기술 중점범위를 설정하여 향후 상세 기획내용의 완성도를 추구
- 수요자의 요구를 반영하여 산/학/연/민간 간의 원활한 합의를 도출함으로써 상세 기획의 완성도를 추구

○ 연구자들을 대상으로 하는 협의회가 아닌 지자체/민간/시민단체 참여가 가능한 참여의 장을 마련함으로써 추후 사업 추진시 진입 장벽을 낮추는 기획 추구

□ 사업단 구축 시 과제 선정 및 운영방식

○ 기술수요 조사 등을 반영한 Top-down(지정공모) 방식을 통해 평가기준에 따른 선정

○ 본 기획 단계에서 세부과제를 구성하는 요소 기술별 RFP 제시

6.2 연구사업단의 창의성 및 혁신성

□ 기술개발의 차별성 및 연계성

○ 현재 국내외 진행되고 있는 수소 도시 실증 연구는 대부분 수소 충전소와 수소 전기차, 버스를 이용한 보급 실증과 가정과 건물에 연료전지를 이용한 단편적인 시범 보급의 형태

일본·EU 등 국가별로 수소도시를 구축 중이나, 아직 시범단계

○ **(일본)** 기타큐슈시에서 수소 이송 및 공급 시스템과 수소연료전지를 구축·운영한 사회 실증사업인 「기타큐슈 수소타운 프로젝트」 시행('11.1)

* 신일본 야하타제철소에서 발생하는 부생수소를 키타큐슈시 시가지를 통과하는 파이프라인으로 일반가정, 상업시설, 공공시설에 수소를 공급하여 시범 운영

○ **(영국)** '30년까지 리즈시를 세계 최초의 수소 도시로 전환하기 위한 타당성 검증을 위한 「H21 Leeds City Gate Project」 착수('16.7)하여 진행 중

* 기존 천연가스 인프라와 인근의 소금동굴 등을 활용하여 수소로 전환 추진

○ **(덴마크)** 롤란드섬 Nakskov에서 수소를 생산하여 Vestenskov에 수소공급 및 활용 위한 「Nakskov Hydrogen Society Project」 진행

* 연료전지모듈을 각 가정에 설치('08년 4가구, '09년 35가구)하고, 수소 공급망을 통해 수소를 공급하는 방식으로 수소타운 운영 중

○ **(네델란드)** 유럽 내 2위 수소에너지 생산국으로 북부지역 중심으로 친환경 수소 경제도시를 목표로 「Netherlands Hystock Project」 추진

* 1MW 용량의 태양광 에너지를 활용한 수소 생산(연 27만톤) 시설 구축과 해상풍력 발전, 천연가스 개질 등을 통해 '50년까지 수소생산단가를 kg당 2~3유로 설정

○ **(호주)** 연방 과학산업 연구기구(CSIRO)를 통해 기술개발부터 수소의 생산판매를 위한 가격경쟁력 등을 포함한 「호주 수소로드맵」 발표('17.9.)

* 1억 5천만 달러의 신재생 기술기금 등을 활용하여 2020년 수소생산 및 2040년 수백억 달러 규모의 수출산업 육성을 목표로, 일본 및 중국 등에 수소 공급 추진

○ **(국내)** 세계 최대 규모의 수소연료전지 주거 타운을 구축·운영 중이나, 기존 인프라의 유지관리 및 경제성 확보와 국산화 등 미흡

* 산업단지 부생수소를 사용하여 140가구(1kW급 140대), 체육관 및 기숙사(10kW급 1대, 5kW급 6대), 읍사무소(5kW급 2대), 홍보관(5kW급 1대) 등 공급 중

○ 수소 사회를 위해서는 기존의 에너지시스템과 융합할 수 있는 개념은 부족하고, 실증을 위한 시민 참여형 연구는 부재하므로 차별성 존재

○ 수소도시를 위한 가장 작은 단위의 주택에서부터 커뮤니티 그리고 최종적으로 도시단위의 수소에너지 활용에 대한 설계기술 개발까지 포함한 도시 공간적 개념을 바탕으로 한 차별성 존재

○ 플러스에너지하우스 및 커뮤니티 구축 사업의 결과를 바탕으로 액티브한 수소에너지를 포함한 청정에너지 커뮤니티 설계 기술임

○ 산업부에서 진행하는 수소생산기지구축사업, 수소융복합실증단지구축사업 등과 연계하여 시너지를 낼 수 있도록 사업 추진 검토

○ 국토부에서 진행하는 스마트시티사업과 연계하여 스마트메터링, 수소에너지거래 등의 기술은 연계하여 진행

○ 국토부 수소도시 3개소와 연계하여 공동주택, 단독주택의 에너지 거래 가능성에 대한 기술개발 진행

6.3 기대 효과

○ 수소 시범 도시 구축과 연계한 플랫폼 R&D로, 지자체 참여를 통해 부지 등을 지원받아 개발된 기술을 접목하여 실증하고, 연구 종료 이후에 지속적으로 활용하도록 추진

○ 검증된 국산화 기술을 후속 시범도시 구축사업에도 연계토록 추진할 뿐 아니라 해외 수출형 사업 모델로도 활용

○ 전 세계적으로 실증 중인 수소 도시는 단순한 수소충전소 위주의 교통 또는 가정용 건물용 연료전지의 활용으로 수소도시가 기존 에너지와의 통합, 연계활용에는 한계 존재

○ 자동차, 전력, 도시가스 등 기존 도시 에너지 및 재생에너지로 각 가구에서 생산된 에너지가 수소에너지 플랫폼에서 연계되고 통합 운영 시스템의 최적화를 통하여 에너지 효율 극대화 및 재생에너지 활용성을 제고

- 재생에너지원의 간헐적 전력생산 단점을 극복하여 기저부하로서 활용
- 단기간 전력저장과 함께 중장기 수소저장 특성을 활용하여 에너지 자립율 향상에 기여

○ 가정에서 생산된 전력을 수소로 전환하여 공유, 판매할 수 있는 모델 개발로 수소도시 거주자가 프로슈머가 되어 경제적, 환경적 (탈탄소 및 재생에너지 사용 비중 확대 등) 편익 창출

- 신재생에너지의 경제성 확보 및 설치부지면적 확보를 통한 재생에너지 3020 달성 실현에 기여
- 온실가스 감축 및 미세먼지 저감에 기여
- 신재생에너지원 보급 확대 및 주민수용성 증대에 기여

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 미래수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 사전기획 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 미래수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 사전기획 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.