

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

## 사전 기획 보고서

R&D

# 해외 수소기반 대중교통 인프라 기술개발 연구단 기획보고서

2019. 8. 15

주관연구기관 / 고려대학교  
위탁연구기관 / 한국 에너지기술 연구원

국 토 교 통 부  
국토교통과학기술진흥원

## 요약문

### 1. 기술의 정의 및 필요성

#### □ 전략프로그램 정의

- **(범위)** 미래 수송 연료인 수소를 활용한 대중교통 인프라 구축을 위한 대용량 수소 공급, 다수 및 동시 버스 충전시스템 구성, 안전, 실증 및 버스 및 충전시스템 운영 기술 전반 그리고 이를 해외에서 적용하여 실증하는 기술 전반
- **(목표)** 경제적인 메가 수소 충전시설 구축, 안전성 확보, 운영을 통한 한국형 수소 대중 교통 인프라 모델 기술 개발과 이의 해외 실증을 통해 해외 시장 진출 토대 마련
- **(수단)** 대형 운송 수단의 효율적 수소 충전과 운행을 위한 수소공급, 압축, 저장, 충전 공정, 수소충전 시스템 효율화, 안전 및 IT를 접목한 대중교통과 수소충전 인프라 운영 기술, 이러한 교통 모델의 설계, 설치, 운영 및 관리의 융합 기술 접목
- **(효과)** 대형 수송, 물류, 대중 교통 수단의 친환경화 대응, 국가 브랜드 기술 확보, 세계 수소 이용 대형 수송 시스템 미래시장 주도권 확보, 수소 인프라 분야 기술 선도

#### □ 기획의 필요성

- 수소버스 및 수소를 연료로 이용한 대형 운송수단은 수송부문의 탈 탄소화를 이룰 수 있는 가장 실용적인 것으로 인식되며 유럽, 일본, 미국 등은 실증을 통해 그 가능성을 확인하고 장기적으로 대중교통정책으로 활성화를 하는 추세
  - 해외의 대중교통 수소 버스 보급 사례와 계획에서 2020년 초 수소버스 보급 시작 이후 2030년대 본격적인 확대가 예상.
  - 국내 수소 버스 개발은 완료된 상태로 현재 시범 중임. 이에 비해 수소 충전시스템은 아직까지 연구개발이 요구되는 상황임.
  - 대형 차고지나 계류지를 중심으로 50대/day 이상의 버스에 대한 연료공급과 이를 위한 경제적/효율적인 공급 시스템 설계 및 검증이 필요
  - 아울러 지역적인 에너지 환경에 맞는 대용량 수소의 공급 기술개발과 함께 IT와 접목한 버스와 충전소의 운행 접목이 요구됨

- (경제적 요인) 현재의 수소 버스 충전시설은 승용차에 대응하는 수소 충전시설을 이용하는 방식이며 수소 충전 비용을 낮추는데 한계점이 있음.
- 다수의 수소버스를 충전하는 비용을 낮추기 위해 수소버스의 충전방식과 압축기와 저장용기의 조합에 대한 최적화 연구가 필요하며 이를 통해 건설비용을 절감할 수 있음.
- 특히 이러한 조합에서 건설비용과 별도로 운영비용은 전기, 천연가스 등의 사용하는 에너지 비용에 따라 수소의 공급과 수소의 충전에 소요되는 비용의 차이가 국내 상황과 해외의 상황이 다르며 이에 대한 최적화가 필요함
- 수소의 공급 비용을 절감할 수 있으며 용량별 대응이 가능한 모듈화 설계를 통해 요소부품의 단순화와 조달가격의 저감이 요구되며 고효율의 수소생산방식에 대한 기술개발이 요구됨

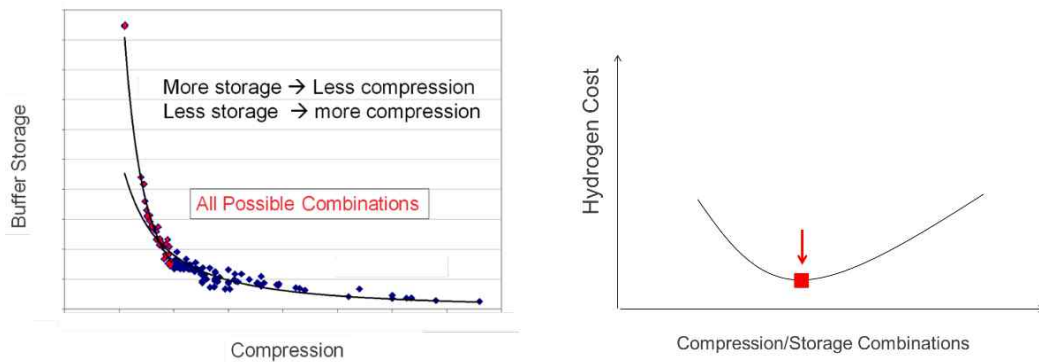


그림 1. 수소저장용기와 압축기의 구성에 따른 최적 수소충전가격 저감 필요

- (환경적 요인) 수송부문에서 온실가스의 저감은 기존 내연기관의 효율화나 hybrid화로는 한계가 있으며 친환경연료로의 전환이 가장 현실적이며 이중 연료의 소모량이 크고 수송인원과 물량이 많은 버스의 수소버스로의 전환이 가장 효과적임.
- 유럽의 여러 나라가 내연기관 자동차의 생산과 이용을 장기적으로 중단할 계획이며 수송수단의 전기화 이루어 질 예정이다. 대형차량 특히 버스의 경우 수소 연료의 에너지 밀도가 높아 장거리 이동이 가능하며 온실가스저감과 차량의 운행비용에서도 장기적으로 장점을 갖을 수 있어 주목받고 있다. 이를 실현하기 위해 수소충전비용의 저감과 친환경수소의 이용이 필요하며 이를 위한 대규모 수소충전시스템의 최적화 기술과 친환경적인 수소생산 기술의 개발이 이루어지고 있음

- 따라서, 대중교통에서 환경부담을 저감시키는 동시에 비용의 저감을 위한 기술 개발이 필요하며 친환경적인 수소공급 기술을 확보하여 장기적으로 해외 시장에서 수소버스와 함께 대중교통 인프라 사업에 대한 미래시장 대응 요구됨.
- 온실가스 발생 측면에서 수소버스는 12meter와 18m크기에서 모든 수송수단에 비해 유리하며 차량운행비용(승객당-운행거리당)에는 버스의 크기가 클수록 전기버스에 비해 유리하며 12m의 경우에도 야간충전전기버스에 비행 유리
- 1회 충전당 운행거리 및 충전시간에서 수소버스는 다른 친환경교통수단을 압도함

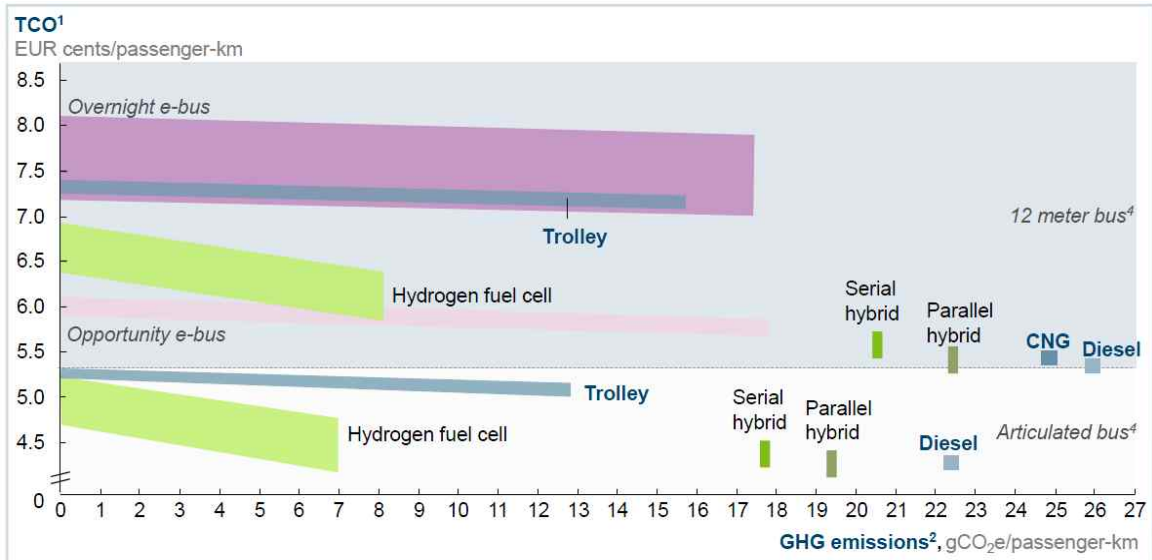


그림 2. 운송수단에 따른 온실가스 저감

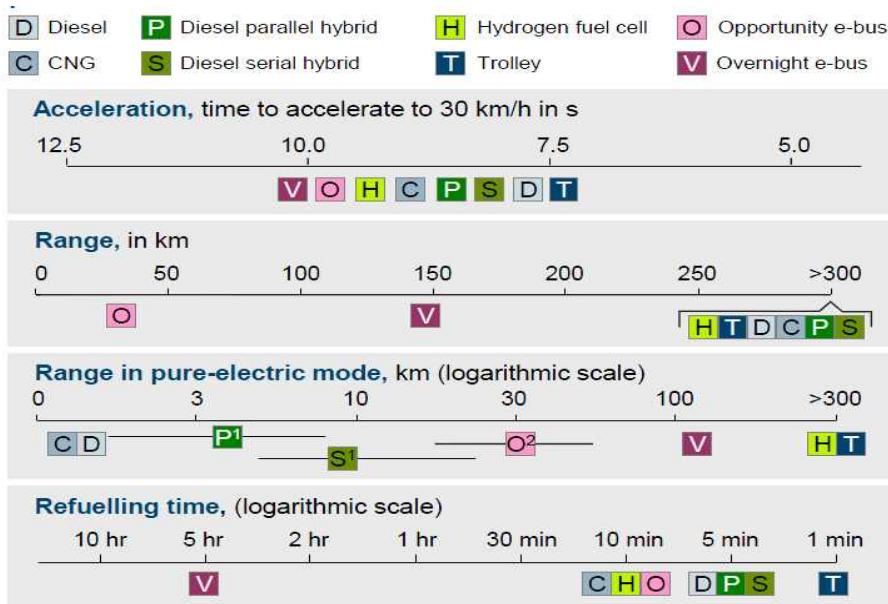


그림 3. 운송수단 별 충전시간

- 수소활용 기술 중 국내 기술로 강점을 갖고 있는 수소버스와 연계한 수소 생산 및 저장, 충전 시스템을 국산화 패키지화하여 해외 시장 선점 추진 필요
  - 천연가스 및 신재생에너지와 연계한 수소 생산 여건이 우수한 중동 대상으로 수소기반의 교통시스템 구축 및 검증을 통해 미래 시장 선점 가능
  - 2030년 이후 해외 현지에서 국산화 기술 기반의 수소 생산 후 국내 운반을 위한 수소생산 해외 거점을 위한 초석 마련 ( 중동의 경우, 태양광 발전 전력 공급 가격이 20원/kWh 수준)
  - 해외 가혹(고온다습 등) 환경을 고려한 맞춤형 수소버스 및 충전시스템 실증을 통해 수소교통패키지 사업 완성도 제고, 홍보효과 극대화

## 2. 국내외 동향 및 환경분석

### □ 정책동향

- 국내 정책 동향을 살펴보면, 제3차 에너지기본계획에 수소에너지 반영을 통해 제도적 기반을 구축할 계획임.
  - 수소경제 활성화 로드맵 발표를 통해 ‘수소차’와 ‘연료전지’를 양대 축으로 하는 산업생태계 구축을 계획하고 미래 신성장 동력으로 육성할 계획이며 이를 뒷받침하기 위한 수소경제법, 수소경제 활성화법, 수소산업을 위한 특별법이 발의되었음
  - 수소 충전인프라 구축을 ‘22년까지 310개소(국토부 160개소) 구축예정이며, 수소 버스 시범사업은 다양한 지자체에서 진행 중
- 수소 대중 교통 및 대형 수송수단의 수소에너지 이용을 확대할 예정
  - 수소버스 4만대, 수소트럭 3만대 보급과 수소열차 개발 추진예정이며 고속도로 및 국도 휴게소에 수소 충전시설 설치와 3,000 m<sup>2</sup> 이상의 수소 충전시설의 도시계획 시설 결정 없이 설치가 가능하도록 할 예정임.
- 수소 경제 조기 구현 모델로 단기적으로 수소 시범도시 플랫폼 개발과 장기적으로 수소도시 보급 확대 및 해외 수출모델 개발이 있으며 이 수소 시범도시 핵심 인프라 중 수소기반의 대중교통 시스템의 국내외 실증 및 해외 수출 상품화에 대한 연구 개발 및 실증 지원 예정

## □ 시장동향

- 맥킨지 컨설팅은 2050년 수소산업은 2천800조원의 시장과 3천만개의 일자리를 창출할 것으로 전망
- 일본은 2030년까지 수소차 80만대, 수소버스 1200대 수소충전소 900개를 보급 예정이며 미국은 캘리포니아주에만 수소차 100만대 수소충전소 1000개소 설치를 목표로 하고 있음
  - 독일은 2030년 수소차 180만대 수소충전소 1천개소 보급 계획
  - 중국은 2030년 수소차 100만대 수소충전소 1천개소 보급 계획
- 다양한 국가에서 수소 대중교통 등을 시범사업화하거나 이미 상용화 하였음
  - 스위스 H2ENERGY사는 현대 수소트럭 1000대 공급 계약, 도요타 수소버스 '소라' 양산시작, 2020년 도쿄올림픽 수소버스 운용, 미국은 26대 수소버스 운행 실증이후 42대 추가 예정
  - 유럽은 2000년초 Cute 프로젝트를 시작으로 144대의 수소버스 실증 이후, JIVE, JIVE2를 통해 2023년까지 291대의 버스를 적용 예정
  - 중국은 2020년 수소버스를 양산할 예정
    - Synergy사는 발라드사와 함께 연산 5000대 규모의 스택 및 버스 생산 시설 건설 및 수소 버스 300대와 수소 연료전지 배송트럭 500대 규모 생산
    - 광둥 포산시는 2019년 연내 수소 버스를 10개의 수소 충전시설과 함께 운영 예정
- 미국의 대형수송차량 시장은 320 억달러 (2021년)에 달할 것으로 예상.
  - 유럽도 수송부문에서 대형차량의 친환경연료 사용을 통한 온실가스 저감을 목표로 하고 있어 시장확대가 예상된다.
  - 최근 미국의 니콜라사는 1.5 ton/day - 8 ton/day의 수전해 수소 생산을 통해 2028년까지 미국과 캐나다에 700개의 대형 차량 용 수소충전소 설치 예정
- 수소의 경제적인 대량 공급을 위한 연구가 진행 중에 있으며 가장 경제적인 방법은 SMR 방식이지만 온실가스 감축 측면에서 수전해 방식이 선호
  - 수전해 방식의 경우 수소의 생산 단가가 전기가격에 크게 좌우되므로 수전해 장치의 효율 향상과 가격 저감 연구가 핵심으로 진행

- 중동 혹은 호주 등 일사량이 좋은 국가의 경우 태양광 전력이 20원/kWh로 매우 경제적이므로 이를 이용한 수전해로 수소 생산을 통해 수소충전소에 활용하거나 대량생산 후 한국이나 일본으로 수소를 수출하는 방안이 검토

## □ 기술동향

- 수소버스와 수소트럭 등 대용량의 수소 충전이 필요로 하는 교통 수단은 승용차 대상의 수소 충전소와는 다른 개념으로 설계가 필요
  - 많은 차량 수용과 충전이 가능하고, 수소 충전비용 저감과 수소 충전속도의 향상이 핵심 연구의 포인트가 됨
- FCH-JU에서 NewBusFuel project를 통해 버스차고지에서 대용량 수소버스 운용을 위한 충전소의 구성에 대한 연구 진행
  - 50 ~ 250대의 수소버스 운행시 수소 충전비용 4 - 6 €/kg 그리고 충전소 이용율 98% 이상을 목표로 진행.
  - Nel사는 50대의 버스를 충전하기 위한 H2Station HD Module를 개발 예정이며 영국 런던 입찰에서 시간당 12대의 버스 충전과 수소 충전비용 5파운드/kg 이하를 목표로 하는 입찰 제시
- 현대자동차와 도요타는 미래 수소전기트럭 시장 기술 표준화 작업에 공동 대응
  - 수소버스와 수소트럭 등 대용량 고압(700bar) 수소 충전기술 표준이 아직 확립되지 않은 상태임
  - 수소 충전기술 표준화를 위해 여러 기업(현대차, 도요타, 에어리퀴드, 넬, 니콜라, 쉘 등)이 함께 대용량 고압충전 표준 부품 개발 컴소시엄 MOU 체결

## 3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

### □ 비전 및 목표

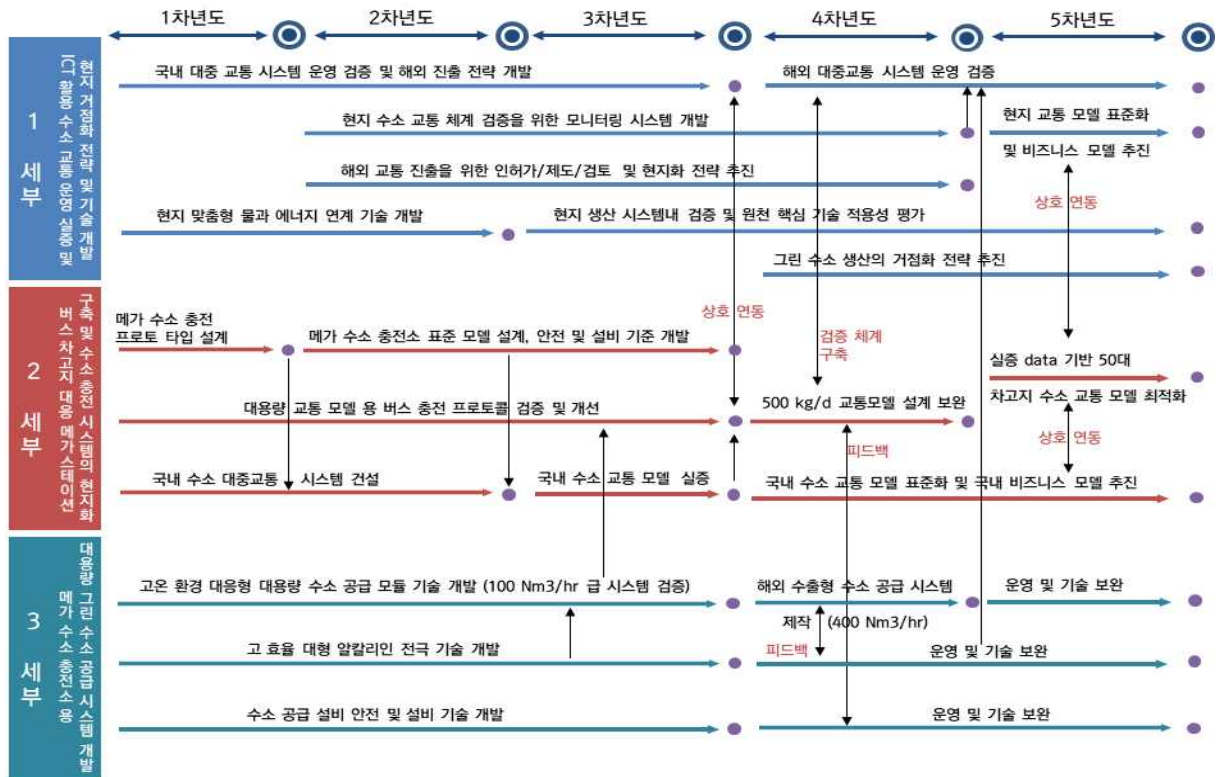
- **[비전]** 기술적으로 강점이 있는 수소 버스와 수소 충전 인프라를 통합한 수소 교통 시스템 패키지화 및 경제적이고 효율적인 수소 교통 인프라 모델 확립
  - 안전하고 친환경적인 교통 서비스 제공하고 및 해외 시장 진출 토대 마련
- **[목표]** 수소 충전 비용 (44,263원/kg<sup>1)</sup> ⇒ 3천원/kg), 수소충전소 가동율 > 95%

1) 수송용 수소연료의 가격 설정 및 공급체계 구축 방안, 수소융합얼라이언스추진단, 2018

□ 연구개발과제 구성

세부 과제명	세세부 과제명
ICT 활용 수소 교통 운영 실증 및 현지 거점화 전략 개발	현지 맞춤형 water-energy 연계 전략 시스템 및 수출 모델 개발
	현지 수소 교통 체계 운영 및 검증을 위한 모니터링 시스템 개발
	현지 맞춤형 수소 교통 모델 개발
버스 차고지 대응 메가스테이션 구축 및 수소충전 시스템의 현지화	버스 차고지 대응 메가 수소 충전소 표준 모델 개발
	대용량 교통모델용 버스 충전 프로토콜 검증 및 최적화 메가 충전소 모델 시험 및 실증
메가 수소 스테이션 용 대용량 그린수소 공급 시스템 개발	고온 환경 적응형 대용량 수소공급 모듈 기술 개발
	고효율 대형 알칼라인 전극 기술 개발
	수소공급설비 안전 및 설비 기준 개발

□ TRM



#### 4. 인력투입 계획 및 소요예산

##### □ 인력투입계획

(단위 : 명)

과제명	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1세부과제	20	20	20	10		70
2세부과제	40	50	50	20		160
3세부과제	40	50	50	20		160
소계	100	120	120	50		390

□ 과제 총연구비 : 37,444 백만원 (정부 28,083 백만원/민간 9,316백만원)

□ 총 3개 세부과제로 구성 (1, 2, 3세부 모두 산학연으로 구성)

[백만원, %]

구 분		총연구비	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부	정부출연금	7,083 (75%)	502	859	1239	2,119	2,364
	기업부담금	1,694 (25%)	167	286	413	706	788
구 분		총연구비	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
2세부	정부출연금	11,000 (75%)	1,500	2,000	3,000	3,000	1,500
	기업부담금	3667 (25%)	500	667	1000	1000	500
구 분		총연구비	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
3세부	정부출연금	10,000 (75%)	1,500	2,000	2,500	3,000	1,000
	기업부담금	3333 (25%)	500	667	833	1000	333

# < 목 차 >

사전기획연구 요약 .....	i
<b>1. 전략프로그램 개요 .....</b>	<b>1</b>
1.1 전략프로그램 정의 .....	1
1.2 단위 시스템 정의 .....	1
1.3 과제 추진형태 .....	1
1.4 기술의 성숙도 .....	2
1.5 기술개발 완료시 수준 .....	2
1.6 기술검증 전략 .....	3
<b>2. 국내외 기술 및 시장 동향 .....</b>	<b>5</b>
2.1 시장 동향 .....	5
2.2 기술개발 동향 .....	7
2.3 대중교통시스템 시장 변화에 대한 대응전략 .....	9
2.4 수소 기반 대중 교통 인프라 기술의 경제적 타당성 검토 및 전략 검토 .....	38
<b>3. 연구개발 목표 및 내용 .....</b>	<b>5</b>
3.1 연구개발 최종목표 .....	5
3.2 세부과제 내용 .....	5
<b>4. 전략프로그램 경쟁력 분석 .....</b>	<b>8</b>
4.1 SWOT 분석 .....	58
4.2 연구수행을 위한 인프라 및 기반 역량 분석 .....	9
4.3 경쟁력 분석 .....	9
<b>5. 세부추진계획 .....</b>	<b>6</b>
5.1 세부과제별 추진계획 .....	6

5.2 TRM 전개 .....	6
5.3 국내 실증 모델 및 해외 모델 건설 운영 예산 분석 .....	7 7
5.4 연구단 이후의 추진계획 .....	9
6. 정부지원 필요성 .....	80
7. 기대효과 .....	81

## 1. 전략프로그램 개요

### 1.1 전략프로그램 정의

- **(범위)** 미래 수송 연료인 수소를 활용한 대중교통 인프라 구축을 위한 대용량 수소 공급, 다수 및 동시 버스 충전시스템 구성, 안전, 실증 및 버스 및 충전시스템 운영 기술 전반 그리고 이를 해외에서 적용하여 실증하는 기술 전반
  - 신재생에너지 연계 그린 수소 생산 → 메가 수소 충전소 → 도시내 수소 교통 시스템 모델
  - 해외 수출을 위한 경쟁력 확보 수단으로서 현지화 기술
  - 장기적인 관점에서 수소 생산 및 수출의 거점화를 위한 전략
- **(목표)** 경제적인 메가 수소 충전시설 구축, 안전성 확보, 운영을 통한 한국형 수소 대중 교통 인프라 모델 기술 개발과 이의 해외 실증을 통해 해외 시장 진출 토대 마련
  - SMR을 통한 수소 생산이 아닌 신재생에너지와 결합된 그린 수소 생산을 통해 실질적인 온실가스 저감 전략 수단으로서 수소 활용
  - 현지화 전략으로서 국내 기술로서의 ICT활용을 통한 수소 교통 체계 수립 전략 개발과 실증을 통한 검증
- **(수단)** 대형 운송 수단의 효율적 수소 충전과 운영을 위한 수소공급, 압축, 저장, 충전 공정, 수소충전 시스템 효율화, 안전 및 IT를 접목한 대중교통과 수소충전 인프라 운영 기술, 이러한 교통 모델의 설계, 설치, 운영 및 관리의 융합 기술 접목
- **(효과)** 대형 수송, 물류, 대중 교통 수단의 친환경화 대응, 국가 브랜드 기술 확보, 세계 수소 이용 대형 수송 시스템 미래시장 주도권 확보, 수소 인프라 분야 기술 선도
- 대중 교통 인프라 기술 개발 연구단

### 1.2 단위 시스템 정의

- |               |  |  |                                  |
|---------------|--|--|----------------------------------|
| [Territory]   | <input checked="" type="checkbox"/> 국토환경 | <input type="checkbox"/> 해양환경            | <input type="checkbox"/> 국토해양 자원 |
| [City Region] | <input type="checkbox"/> 도시              | <input checked="" type="checkbox"/> 광역교통 | <input type="checkbox"/> 플랜트     |
| [District]    | <input checked="" type="checkbox"/> 도시교통 | <input type="checkbox"/> 주택/빌딩           |                                  |

### 1.3 과제 추진형태

- 사업단      ■ 연구단

구분	장점	단점
연구단	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대중교통시스템에 있어 수소인프라에 대한 국가적(국토부)의 R&amp;D 영역 확보</li> <li>- 연구외적 손실 최소화</li> <li>- 단위 기술별 기술성숙도 차이 극복 용이</li> <li>- 국내 기술이 적용된 시스템 플랫폼 제 공으로 국산화 확대 가능</li> <li>- 축약된 국내 실증 및 해외실증을 통한 손실 최소화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 실증에서 민원 및 부지 확보의 어려움 발생 소지 있음.</li> <li>- 단위 기술간 기술 성숙도 차이 극복에 시간적 제약 존재</li> <li>- 대형시스템에 대한 기술적 완전 검증 추가 필요</li> <li>- 해외 인허가 및 운영에서 법제도의 호환성 문제 발생 가능성 존재</li> </ul>

### 1.4 기술의 성숙도

- 태동 (Embryonic Technology) : 연구개발초기로서 개발의 진보가 필요한 기술
  - 성장 (Pacing Technology) : 가까운 장래에 핵심기술이 될 수 있는 잠재성 있는 기술
  - 핵심 (Key Technology) : 현 시점에서 경쟁우위에 있는 기술
  - 기반 (Base Technology) : 반드시 보유해야할 기술로서 표준화되거나 성숙 단계에 있는 기술
- 수소를 이용한 대형 교통 및 수송 수단에 대한 기술은 태동기를 지나 성장 초기 단계이며 20년 이내에 주요 선진국 및 개발 도상국에서 차세대 교통수단으로 유망한 핵심기술임
  - 우리나라의 수소 버스와 같이 패키지화를 통한 해외 시장 진출 시 경쟁력이 높을 것으로 예측되며 교통시스템은 인프라적인 요소가 강하기 때문에 수소 버스를 포함한 대형 프로젝트를 기획하여 사업성을 키울 수 있음.

### 1.5 기술개발 완료시 수준

- 세계최초 : 연구완료시 세계 최초 개발의 위치가 예상되는 경우
- 선도적 위치 : 세계최초 성과는 아니나, 개발시기상 선두권 위치 및 시장선점이 가능한 경우

- 중간 위치 : 시장 선점이 가능하지는 않으나, 시장 진입은 가능한 경우
- 후발 위치 : 개발 시기상으로 후발권인 경우, 늦은 개발 시기로 인해 시장진입이 어려운 경우

- 수소 대중교통 기술은 선진국 대비 기술선도를 위한 미래 선도기술이며, 성공적으로 개발될 경우 20년 이내에 현 디젤/LPG/CNG 기반의 대형 교통 수단의 차량 및 인프라 시장의 패러다임을 변화시킬 수 있는 획기적 온실가스 저감 및 차세대 교통 수단임.
- 현재 700 bar 수준의 수소를 충전하여 이용하는 수소 버스 양산기술을 보유한 국가는 한국과 일본을 제외하고 찾아보기 힘들
  - 버스내에 대용량 수소 충전과 운행을 위해서는 경제성과 효율성 확보가 필요하며 이를 위해 수소 충전비용은 3천원/kg이하 충전소 가동율은 95% 이상을 달성할 수 있으면 기존 교통 체계에 대하여 경쟁력이 있는 것으로 분석

## 1.6 기술검증 전략

- 국내에서 최적 설계된 수소 버스 충전시스템의 핵심 기술 부분과 운영에 대하여 개발된 기술들은 국내 수소버스 충전소에 적용하여 1차 검증
  - 상대적으로 기술성숙도가 낮고 운영비와 설치비를 가중시키는 수소 공급기술은 단위기술로 검증
  - 현지화를 위해 고온 환경의 해외에서 실증을 통한 보완/적용 등의 단계적 검증 절차가 가장 비용을 줄이고 불확실성을 제거하는 방식으로 평가
- 50대/day 이상의 수소버스충전과 수소버스 운영을 위한 시스템의 충전비용 저감 및 효율 최적화 설계 Tool을 개발
  - 2대 동시 충전, 연속충전이 가능한 수소 버스 충전시설과 수소 버스 운영을 국내에서 실시하여 개발된 Tool을 검증하고 보완
  - 국내에서 하절기 운영을 통해 해외 적용시 발생할 수 있는 문제점 대응 전략 수립과 해외 수소 교통 시스템에 적용 및 평가 시스템을 수립
- 해외 실증 전 해외 수요자에 대한 홍보 및 시장 진출 목적 면에서 국내 실증 시스템 검증을 통한 해외 추가 검증이 타당할 것으로 분석
- 국내 축소형 실증을 통한 기술 검증을 통해 국내 대형 수소 버스 교통시스템에 대한 기술적 불확실성을 제거

- 국내 수소 교통모델 실현 및 검증과 동시에 해외형 수소 교통 모델 실증을 동시에 진행할 수 있는 장점이 있음

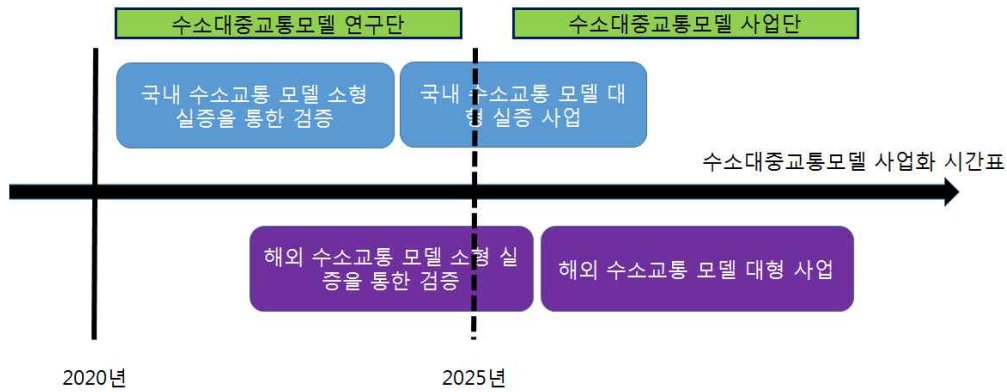


그림 1. 연구단 내 기술 검증 전략

- 현재 진행 중인 산업부의 수소충전소 관련 부품 개발 및 수소 버스 관련 개발 과제의 성과를 활용하여 진행방향 선정을 통해 기 확보된 연구 인프라 활용도 극대화
  - 기술검증 과정 단축 및 투자비용 대비 효율 향상을 위한 전략적 추진 방향
- 국내 실증은 연구단에 선정된 연구책임기관에서 설비를 제공하고 수소 버스 공급 사나 지자체가 수소 버스를 현물로 지원하는 전략적 방향성
  - \* 수소도시를 지향하는 지자체와 별도 협약을 통해 추진
- 연구단은 국토부의 주관하에 해외 실증 대상 기관과 인허가 및 실증을 위한 협약 체결과 실증사업 종료 후 사후 관리에 대한 협의를 주관
- 연구책임기관의 계획하에 기본적인 사후 활용 방안에 대한 검증 및 평가 체계 구축
  - 기본적인 사후활용방안은 공공성을 목적으로 하며, 사후 관리방안에 대한 컨소시엄 기관의 계획평가를 추진
  - 국외의 경우, 공공성을 기본으로 하나, 사후 활용 방안시 기술료 등과 연계추진
  - 기본적인 실증에 대한 추진비용 및 R&D 결과물에 대한 것은 국가가, 그 밖의 것에 대해서 해당 기관 및 컨소시엄 기관에서 부담

- 연구단은 국내·외 실증 및 운영 결과를 통하여 향후 사업화 연계 전략 수립
  - 국내·외 소형 실증 이후 대형 국내 사업화와 해외 사업화 계획 필요

## 2. 국내외 기술 및 시장 동향

### 2.1. 시장 동향

#### □ 수소 버스 및 수소 트럭 시장 현황

##### 요약

- 현재 수소 버스 및 트럭은 시범사업으로 전 세계적으로 약 1000여대가 제작되고 운행을 하거나 진행 중에 있음.
- 2040년 국내에서 약 18만대의 트럭과 버스가 생산되어 7만대가 보급 예정<sup>2)</sup>이며 일본은 2030년까지 수소버스 1200대 보급 계획이며 유럽과 미국, 중국 등의 대형 수송차량 시장에서 수소차의 비중이 지속적으로 증가하여 거대 시장으로 등장 예상
- (다임러벤츠) 도심용 수소전기버스 Citaro Fuel Cell-Hybrid 모델을 시험운용하여 상용화 컨셉을 실증
- (토요타) `17년 3월, 세계최초 양산형 수소전기버스인 미라노스(miranos)의 시범 운행을 시작하였으며, `18년 3월 일본 최초의 수소전기버스 인증을 받은 소라(sora)10)를 도쿄 시내버스로 투입함
- 현대차는 `04년부터 수소전기버스를 개발하여, 현재 시범 운행 및 일부 노선 투입 중이며, `20년부터 4세대 수소전기버스 양산 예정
  - 이미 `06년 독일월드컵에서의 시범운행 이후 `10년 G20 정상회의, `12년 여수 세계박람회, `18년 평창올림픽 등 국제적 행사에 수소전기버스를 운영차량으로 지원한 바 있음
  - 수소전기버스를 올해`18년 5월 서울(1대)에서 시범운행 하였으며, 정규노선 버스로서 울산 (10월, 3대)과 서울(11월, 7대)에서 운행을 시작하여 `19년까지 전국 30대 투입 예정
- 스위스의 H2ENERGY사는 현대 수소트럭 1000대 공급계약을 체결하였으며, 도요타는 수소버스 '소라' 양산이후 2020년 도쿄올림픽 수소버스 운용계획임. 미국은 26대 수소버스 운행 실증을 하고 있으며 42대를 추가할 계획

2) 수소경제활성화 로드맵

- 유럽은 2000년초 Cute 프로젝트를 시작으로 144대의 수소버스 실증을 하였으며 JIVE, JIVE2를 통해 2023년까지 291대의 버스를 적용 예정
  - 중국은 2020년 수소버스를 양산할 계획으로 대표적으로 Synergy사는 발라드사와 함께 연산 5000대 규모의 스택 및 버스 생산 시설을 건설하였으며 이미 300대의 수소버스 생산을 진행함.
  - 500대 규모의 수소연료전지 배송트럭도 제작하였으며 광둥 포산시는 2019년 연내 수소 버스를 10개의 수소충전시설과 함께 운영 예정.
- 미국의 대형 수송차량 시장은 320억 달러(2021년)에 달할 것으로 예상되며 유럽도 수송부문에서 대형차량의 친환경연료 사용을 통한 온실가스 저감을 목표로 하고 있어 시장확대가 예상됨.
  - 자동차, 버스, 트럭 및 수소관련 인프라 사업은 관련 부품업체 및 시스템 업체, 건설업, 설비업, 운수업, 물류 등 관련 산업의 투자 및 고용에 대한 파급효과가 매우 큼

**현대차그룹 및 협력사, 수소전기차 관련 누적 신규 투자 및 고용 목표**

구분	2020년	2022년	2025년	2030년
생산	1만1000대	4만대	13만대	50만대
투자	3000억원	1조5000억원	2조9000억원	7조6000억원
고용	1천300명	3000명	1만명	5만1000명

\*자료:현대차그룹, 생산은 해당연도 연간목표 기준

그림 2. 현대차 그룹의 수소 전기차 관련 누적 신규 투자 및 고용 목표

- 맥킨지 보고에 의하면 수소버스는 이미 상용화가 된 것으로 보고 있으며, 관광 버스, 화물트럭 등도 2025년까지 상용화가 이루어 질 것으로 예측하고 있음.
- 2018년 미국의 니콜라 모터스는 NEL사와 2개의 대형차량용 수소공급 및 충전 시설을 실증하기 위해 건설하여 운행할 예정이며 중기적으로 800대의 니콜라 모터스의 수소트럭을 운행하기 위한 28개의 충전소를 건설하고 장기적으로 448개의 수전해 시스템과 충전시스템을 2020년부터 공급하여 2028년까지 미국과 캐나다에 700개의 대형차량용 수소충전소를 설치할 계획

## 부문 별 수소 기술 상업화 시작 및 Mass market acceptance 시점

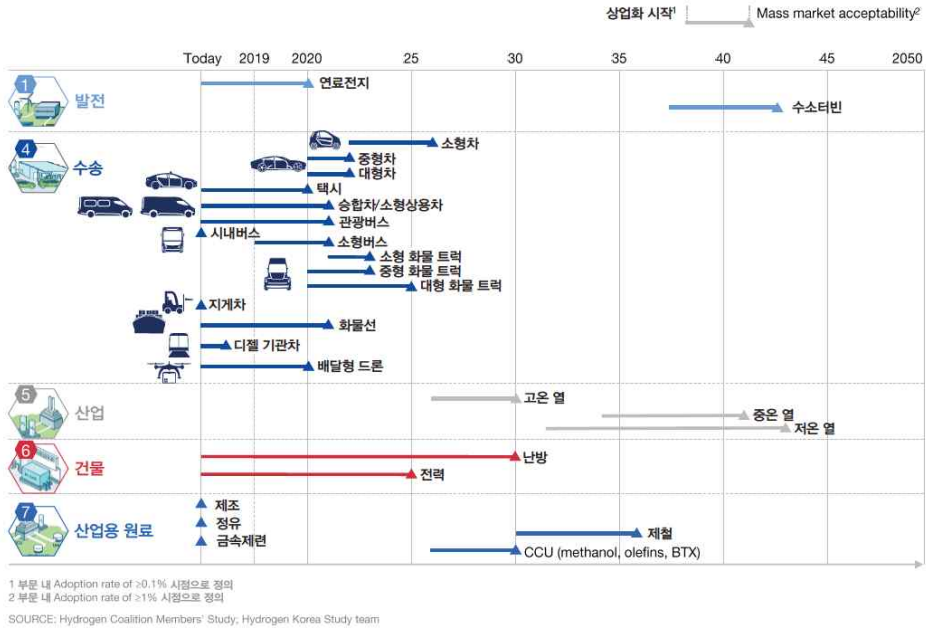


그림 3. 수소산업별 상업화 시기

(맥킨지, 한국 수소 산업 로드맵, 한국의 미래 수소 경제 비전과 이를 달성하기 위한 로드맵 및 제어)

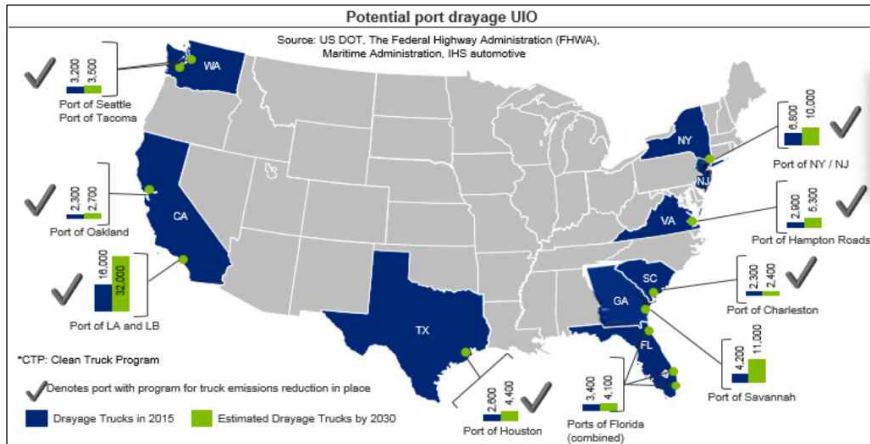


그림 4. 미국 항만 대형 물류 수소 수용

- 2010년 기준 서부 유럽의 매년 등록 기준 도시버시장은 43.6억 유로<sup>3)</sup>
- EU의 수소버스 확산 시나리오에 따르면 2025년까지 8800대의 수소버스가 보급 될 것으로 예상

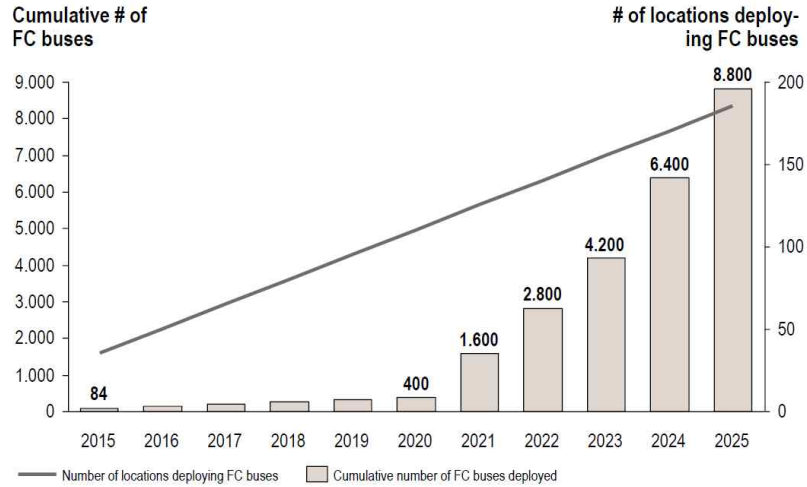


그림 5. EU의 수소 버스 확대 시나리오<sup>4)</sup>

- 유럽의 버스생산 OEM 업체들의 경우 주당 3대의 일정한 생산량과 주문이 있는 경우 12m 수소버스를 €330k - €457k로 생산 가능한 것으로 예상

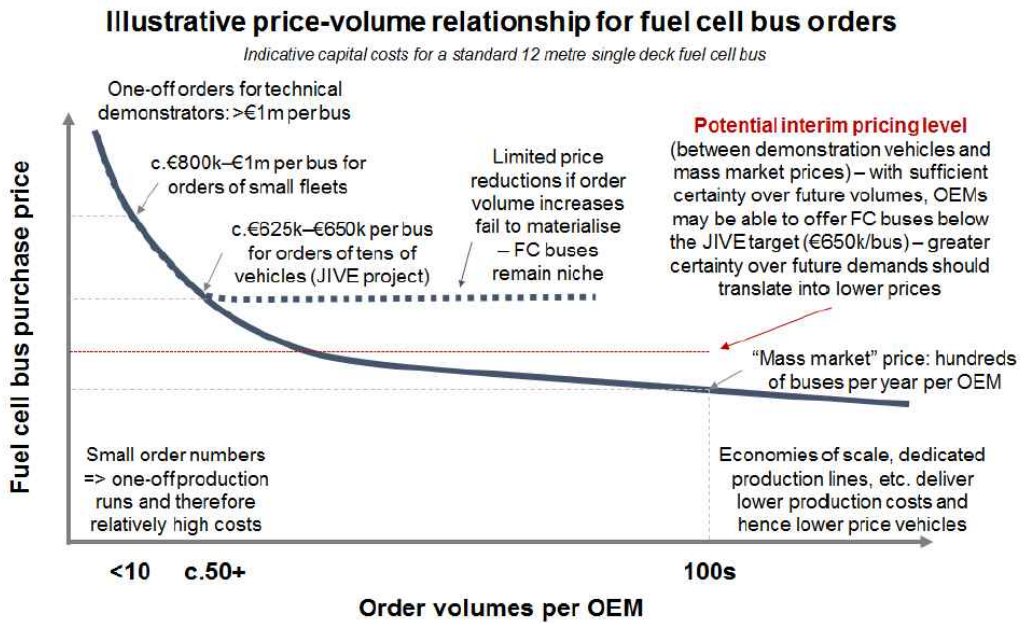


그림 6. EU의 버스 생산 OEM 업체의 수소 버스 생산 대수에 따른 생산비 저감 예시

4) Fuel Cell Electric Buses - Potential for Sustainable Public Transport in Europe, FCH-JU, 2015

□ 수소충전시설 시장

**요약**

- 2018년 1월 기준 세계 수소충전소의 설치 숫자는 약 275개이며 장기적으로 수천개의 수소충전시설이 건설될 것으로 예상됨
- 단기적으로 소형 및 중형 수소충전시설이 건설이 많이 되겠지만 장기적으로 대형 수소충전시설의 확장이 예상됨

- EU의 각 국가별 Hydrogen Mobility 계획과 한국, 중국, 일본의 수소로드맵, 미국 캘리포니아의 수소자동차 보급 로드맵에서 장기적으로 수소충전시설의 건설에 대한 계획 수립
  - 소형 (400kg/day이하)의 수소충전소는 20~30억 내외의 건설비용이 요구되므로 2040년 8,000여개 수소충전소 기준으로 20조 ~ 24조원의 시장이 형성될 것으로 분석

표 1. 국가별 수소충전소 및 수소전기차 보급 계획<sup>5)</sup>

국가	수소전기차 및 충전소	년도별 보급 수량		
		2020	2022	2040
한국	년도	2020	2022	2040
	수소자동차	5,000	67,000	2,900,000
	수소충전소	130	310	1,200
일본	년도	2020	2030	
	수소자동차	40,000	800,000	
	수소충전소	160	900	
중국	년도	2020	2025	2030
	수소자동차	5,000	50,000	1,000,000
	수소충전소	100	350	1,000
영국	년도	2020	2025	2030

5) Hincio analysis based on H2Mobility program in EU, 수소경제활성화로드맵, Hydrogen Fuel Cell Vehicle Technology Roadmap of China

	수소자동차	13,000	255,000	1,600,000
	수소충전소	65	380	1150
	년도	2020	2025	2030
독일	수소자동차	150,000	500,000	1,800,000
	수소충전소	400	500	1,000
	년도	2025	2030	2050
프랑스	수소자동차	167,000	800,000	7,300,000
	수소충전소	335	600	>1,000
	년도	2025	2030	
캘리포니아	수소자동차		1,000,000	
	수소충전소	200	1,000	
	년도	2025	2050	
스칸디나비아	수소자동차	87,000	3,300,000-7,300,000	
	수소충전소	185	450 - 1,000	

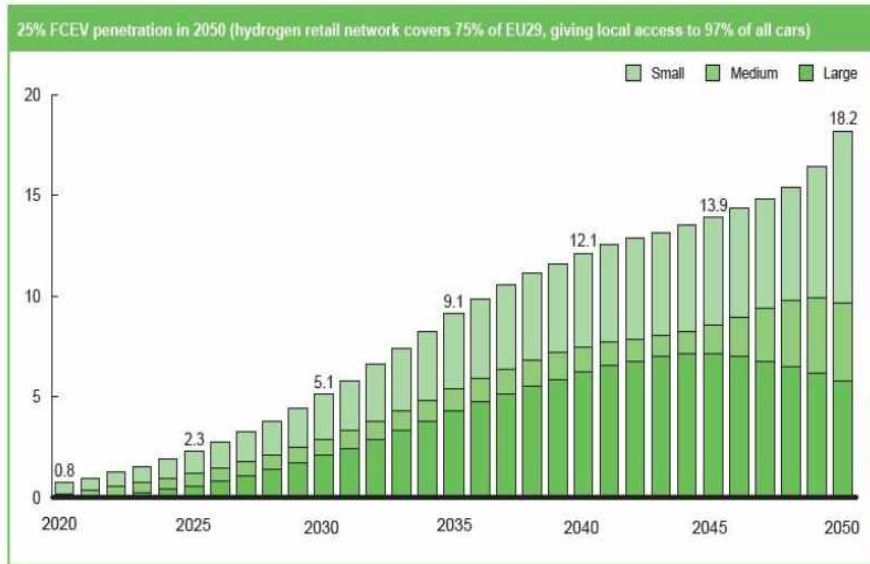


그림 7. EU의 수소 전기차 보급 가정에 따른 수소 충전시설의 크기와 점유율

- EU는 FCH-JU를 통해 대규모 수소버스 및 수소버스충전소 도입을 지원하는 JIVE, JIVE2 프로그램을 추진
  - JIVE에서 139대, JIVE2(프로젝트 예산 €105,987,348)에서 152대의 수소버스를 9개국 23개 파트너와 컨소시엄을 통해 지원
  - 수소버스의 대규모 운행, 수소버스 충전소 기술 타당성 실증, 버스가격 인하, 재생에너지 수소생산 방안 실증 등을 확인하고 있음.

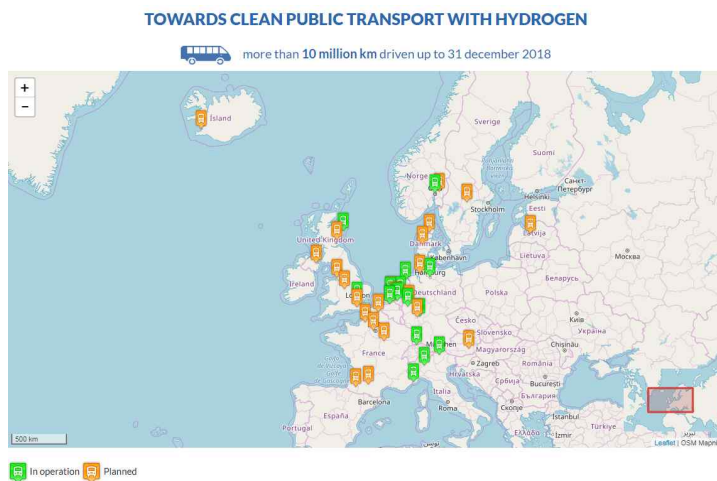


그림 8. 유럽의 수소 버스 운영 및 운영 예정 도시

- 프랑스 Pau 지역에 세계 최초의 BRT 수소버스 운행 예정
  - 별도의 버스차고지와 BRT용 수소 충전시설이 건설과 지역의 재생에너지로부터

## 수소를 공급할 계획

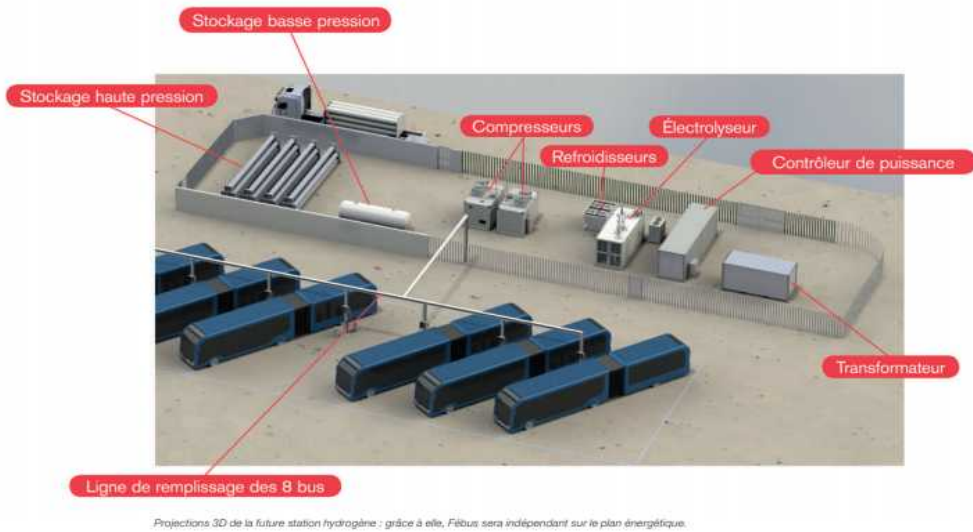


그림 9. 프랑스 Fau 지역의 수소 BRT 전용 충전 시설

- 니콜라모터스는 NEL사와 함께 2020년부터 공급하여 2028년까지 미국과 캐나다에 700개의 대형차량용 수소충전소를 설치할 예정

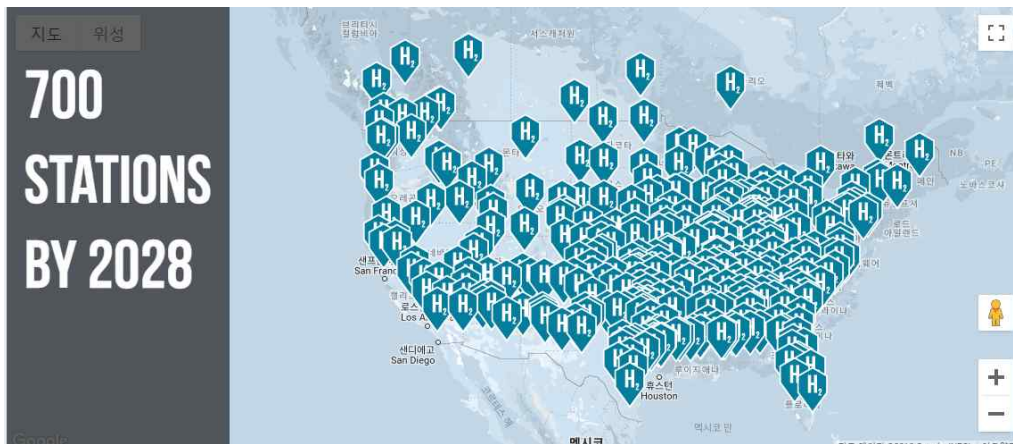


그림 10. 니콜라 모터스의 수소트럭 수소충전시설 예정지(출처: 니콜라 모터스)

- 우리나라는 수도권 주요 교통축별로 수소복합환승센터 구축('21~), 버스공영차고지 등에 수소충전소 구축 예정

## □ 수소공급기술

## 요약

- 수소의 공급 기술로는 장기적으로 수전해에 의한 수소제조가 경쟁력을 나타낼 것으로 보임.
- 지역적, 환경적 요인에 따라 재생전력의 가격이 50원/kWh이하인 경우 수소충전가격을 6천원 이하까지 낮출 수 있을 것으로 예상

- 수전해를 통한 수소의 생산은 장기적으로 재생전력 비중 증가와 이로 인한 전력 계통 안전성에 기여할 것으로 예상 되기때문에 이에 대한 기술 개발 및 연계 실증이 증가할 것으로 전망
- 수전해 수소생산에서 전기 가격 비중이 70% 이상이기 때문에 재생에너지가 풍부한 지역은 재생 전력 단가의 가격 경쟁력 확보에 따라 수전해 수소 제조에 대한 경제성 확보가 가능할 것으로 분석

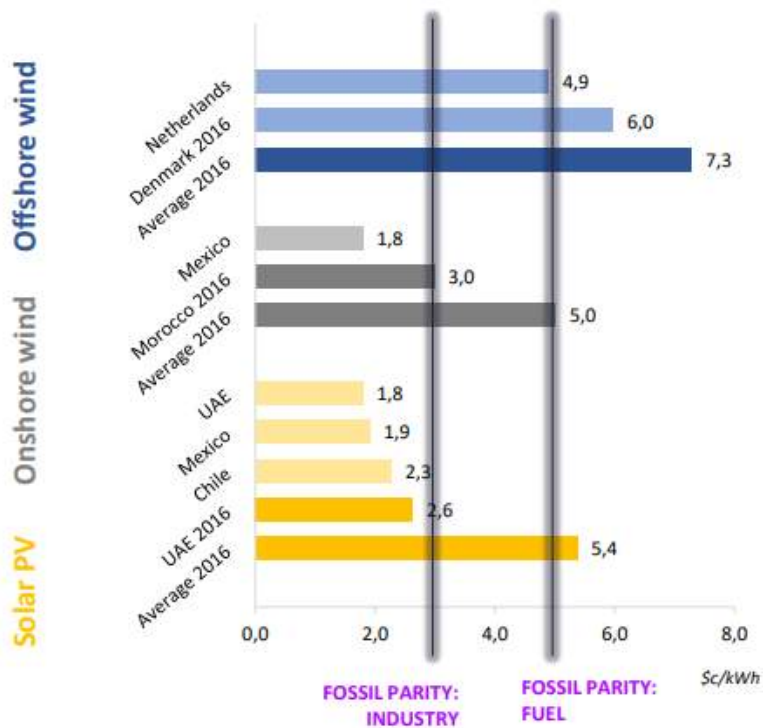


그림 15 국가별 재생전력의 단가(출처: NEL)

그림 11. 국가별 재생 전력 단가 비교 (출처 : nel)

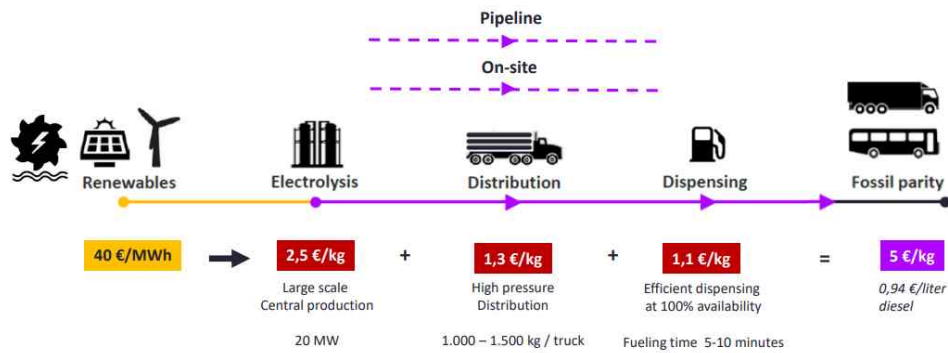


그림 11. 재생전력의 가격이 충분히 낮은 경우와 대용량 수전해 및 downstream에서 비용 저감시 수소충전가격의 디젤 연료 대비 경쟁력, NEL사의 전망

- EU의 경우 수소의 가격이(최종 수소충전가격) €5-6/kg이면 경유 연료와 유사한 연료가격 경쟁력을 가질 것으로 예상 (수소버스 연비 7.5 kg/100km, 경유버스 연비 35 L/100km, 경유가격 €1.1/liter==> 연료 parity 수소 가격 €5.1/kg).
  - 수소 충전 가격 확보를 위해서는 50대 이상의 버스를 충전하는 시설을 적용해야 하는 것으로 조사됨<sup>6)</sup>
  - EU의 보고서에서 목표 수소 충전가격 만족을 위해서는 전력의 가격이 €50/MWh 이하이어야 함.
  - 수소 충전가격 저감을 위한 수소충전소의 디자인과 설비 가격 및 대형화를 통한 설비 수 감소과 함께 개별 장치가격 저감이 필요
- 산업, 에너지 저장, 수소충전소, 수송부문의 현 시장 및 잠재 시장 분석 결과 수전해 시장, 수소 충전소 시장이 대세일 것으로 전망
  - 산업부문 수전해 시장 200 백만불, 에너지 저장 시장 14 억불, 수소충전소 400 백만불<sup>7)</sup>
  - 프랑스, 독일 및 FCH-JU 자료에 의하면 유럽에서 향후 2050년까지 재생에너지의 수소 형태로의 저장 관련 수전해 필요용량을 작게는 수십 GW에서 수백 GW까지 예상

6) NewBusFuel report

7) Scaling global opportunities, Investor presentation, June 2016, Hydrogenics

Publication	Potential for water electrolysis (P2G)
“Study of the requirement for electricity storage in Germany” Agora Energiewende	GER: <b>16 GW (2023)</b> , 80 GW (2033) and <b>130 GW (2050)</b>
“Reduction of CO2 emissions by addition of hydrogen to natural gas” by Haines, Polman and de Laat, in IEA Greenhouse Gas Control Technologies Volume 1	UK: <b>23.5 GW of electrolysis in 2050</b>
“Study of hydrogen and methanation as processes for capturing the value of excess electricity” Report by ADEME GRTgaz and GRDF, France	FR: 1.2-1.4 GW of P2G plant in France by 2030 and up to <b>24 GW by 2050</b>
“The role of power-to-gas in the future Dutch energy system” ECN and DNVGL for TKI Gas, 2014	HOL: <b>20 GW</b> of installed P2G capacity if deep CO <sub>2</sub> emission reduction targets in the energy system (-80% to -95% by 2050)
NREL Hydrogen Energy Storage workshop proceedings February 2015	
Commercialization of Energy Storage in Europe FCH-JU (McKinsey) March 2015	GER: <b>18GW (2030)</b> , <b>46GW (2030 High RES)</b> , and <b>170GW (2050 High RES)</b>

그림 12. 재생 전력의 수소 전환/저장 관련 수전해 용량 예측 자료

- 수소 생산기술로서 수전해 기술은 유럽과 북미 업체의 기술이 압도적이며 유럽의 선도 수전해 업체의 경우 현재 360 MW 규모의 수전해 장치를 건설 중에 있는 것으로 조사됨

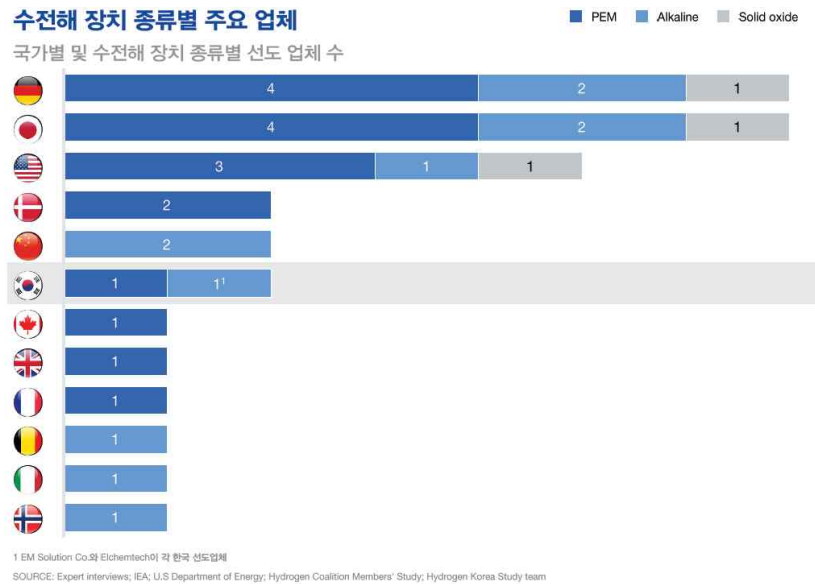


그림 13. 국가별 수전해 장치 종류별 선도 업체 수



그림 14. 다양한 소스로부터 유추한 수전해 및 수소충전소 시장(출처: McPhy)

## 2.2. 기술개발 동향

### □ 대형 수송에 수소연료전지 기술 적용 추세

#### 요약

- 대형 Bus 및 트럭의 경우 친환경 차량의 운행 거리, 운송량, 충전 편의성 등에서 전기차량에 비해 장점이 있어 개발 및 실증이 이루어지고 있음
  - 대형 수소전기 차량의 이동거리는 300km이상을 목표로 하고 있음.
  - 대부분의 수소버스는 현재 350 bar를 기준으로 하는 SAE J2601-2을 기준으로 하고 있으며 현재 700 bar 충전을 위한 표준을 제정하려고 준비하고 있음
  - 수소버스의 가격은 중단기적으로 7억원 내외의 가격이 예상되며 장기적으로 주문 수량 증가시 3억원 가량이 가능할 것으로 예상
  - 수소 버스 및 수소 트럭에 대한 실증 운행이 전 세계적으로 진행 되고 있으며 관련 자동차 업계에서 선제적으로 시장을 장악하기 위한 대형 수소 차량과 수소충전소 건설을 발표하고 있음.
- 수송부문에서 대기오염물질의 저감 및 온실가스 저감에서 수소버스의 효과가 커 적용 확대 예상됨.

- 현대차는 현재의 3세대 수소버스 스펙 (충전용량 25kg, 1회 충전시 400km 주행) 보다 향상된 성능의 4세대 모델 출시 예정

	개발시기	연료전지	수소탱크 압력(bar)	구동(휠모터)
1세대	'06년	80kW(2개)	350	240kW(1개)
2세대	'09년	100kW(2개)	350	100kW(3개)
3세대	'17년	100kW(2개)	700	120kW(2개)

그림 15. 현대자동차의 수소 버스 세대별 특징

- 수소 버스의 연비는 현재 10km/kg에서 30년까지 15 km/kg으로 향상하고 내구성은 현재 16만 km에서 80만 km로 5배 향상을 목표로 제시
  - 전용 부품 개발을 통해 기술력 강화 예정 (출처: 수소경제활성화 로드맵)

- 현대자동차와 도요타는 미래 수소 전기트럭 시장 기술 표준화 작업 공동 대응
  - 수소 버스와 수소 트럭 등 대용량 고압(700bar) 수소충전 기술 표준을 위해 여러 기업 (현대차, 도요타, 에어리퀴드, 벨, 니콜라, 쉘 등)이 함께 대용량 고압충전 표준 부품 개발 검토시범 MOU 체결
- 중국은 2008년 베이징올림픽, 2010년 상하이 세계엑스포, UNDP와 국제환경기구에서 지원한 수소버스상용화 실증 프로젝트, 캘리포니아 데모 등에 수소버스를 적용 및 운행한 바 있음.
- 북경 올림픽 기간 적용 수소버스의 경우 8.5 kg/100km의 연료경제성을 보였으며 북경 올림픽기간에 누적 운행거리는 60,000km 이었으며 상하이 엑스포 기간에 적용된 수소버스는 1.83백만명의 승객 운송과 누적 910,000 km 운행거리, 연비 9.8 kg/km를 나타냈음.

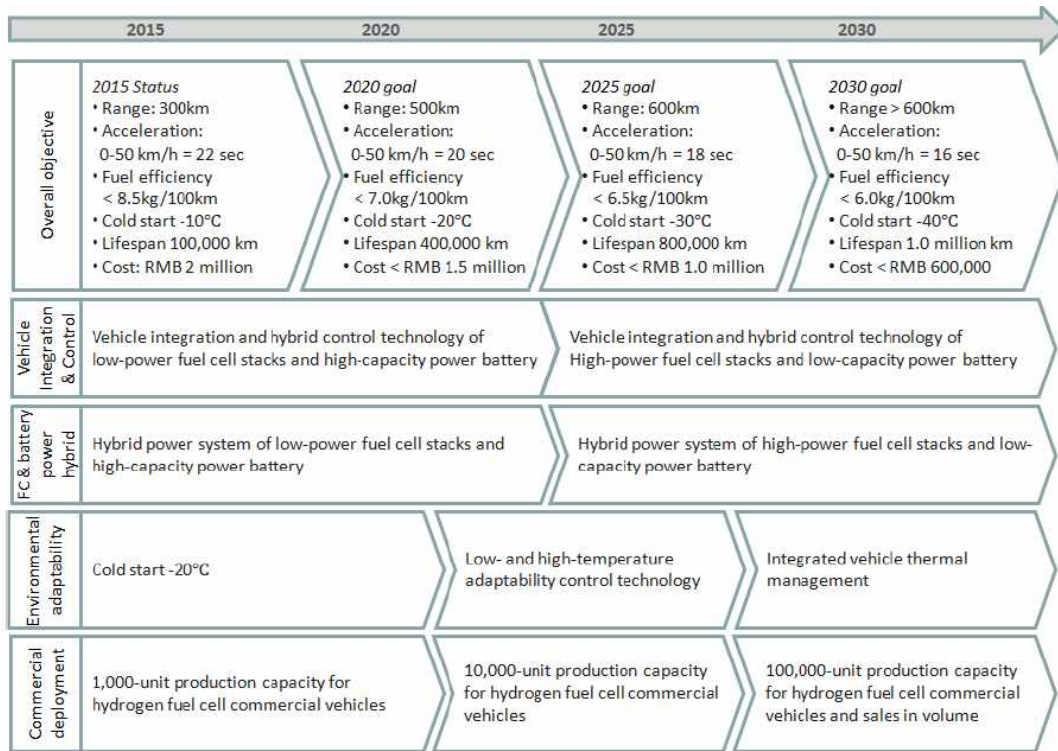


그림 16. 중국의 상용 수소전기차(버스)의 개발 로드맵

- 수소버스의 가격은 JIVE, JIVE2에서 약 60만유로의 가격 하락을 예상하였으며 생산량이 20,000대일 경우 보조금 없이 디젤버스와 경쟁 가능할 것으로 예상.

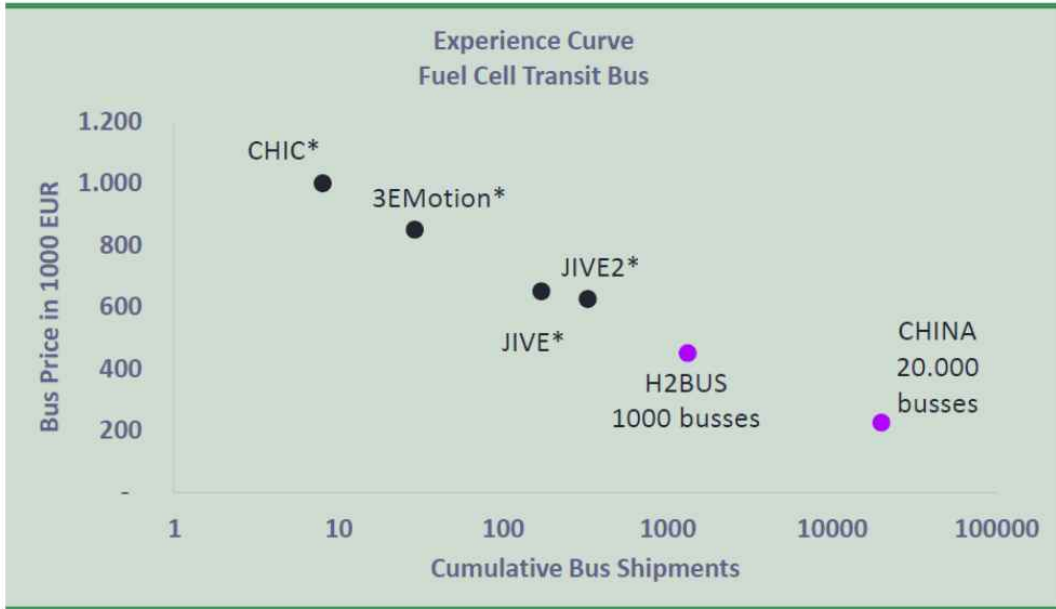


그림 17. 수소버스의 가격 하락 예측 (nel)

- 수소를 연료를 사용하는 경우 천연가스 개질을 이용하더라도 디젤 연료대비 CO<sub>2</sub> 감축이 있으며 원자력이나 재생전력 비중이 높으면, 그리드 전력을 이용시에도 CO<sub>2</sub> 발생량이 더 감소
- 수소 버스 활용시 CO<sub>2</sub> 전체 발생량 중 7%를 줄일 수 있으며 이 밖에 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM, 하이드로카본 발생량을 감소시킬 수 있는 것으로 보고됨.

**CO<sub>2</sub> footprint of electricity is crucial**

**CO<sub>2</sub> emissions of bus fuel (well-to-wheel) in 2015 [kg/100 km]**

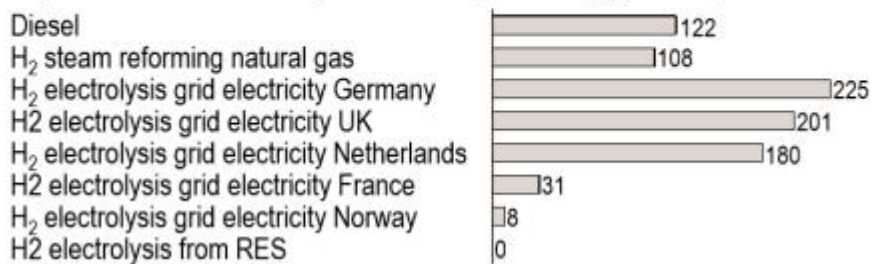


그림 17. Well to Wheel CO<sub>2</sub> 감축량 비교, FCH-JU Fuel Cell Electric Bus Potential for sustainable public transport in Europe.

## □ 대형 수소충전시스템 개발 추세

### 요약

- 50대 이상의 버스 충전 메가 인프라의 최적화를 통한 효율화 및 건설비 저감, 수소인프라와 차량 최적화를 통한 운행 효율화와 신뢰성 확보가 좌우
  - 대량 수소 동시 충전을 위한 시뮬레이션 프로그램 개발 및 이를 통한 충전압력, 저장 용기 구성 등 시스템 최적화 설계, 경제성 및 효율화 추진
  - 대용량 수소 충전 시스템 안전 및 설비 기준 미비
  - 대형 차량 충전 규격 미비로 이를 극복하기 위한 충전 효율화 및 안전을 고려한 버스충전프로토콜 검증 및 MC fill 등 충전 최적화 추진
  - 다양한 설계안을 통한 메가 충전소 설계안 제시
  - 국산 제품의 track record 확보와 적용 확대를 위한 플랫폼 제공
  - 모델 버스 충전소 및 수소버스 운행 실증
  - 수소버스 운행과 수소충전소 상황 공유 웹기반 서비스 개발
  
- 수소 교통시스템 해외 현지 실증 추진을 통한 검증
  - 해외 인허가 추진
  - 해외 적응형 수소 충전 시설 설계
  - 수소버스 운행 및 수소충전소 상황 공유 웹기반 서비스 현지화 추진
  - 원격 운영 및 관리 시스템 개발을 통한 운영 노하우 획득
  - 해외 충전소와 버스 연계 실증 및 운영을 통한 검증
  
- 현재 250kg/day 수준의 국내 수소충전소는 버스용으로 적용하기에는 충전 프로토콜 및 규격이 적절치 않으며 장기적으로 단가 저감을 위해 1~2ton/day의 용량의 수소버스/트럭 충전시설의 최적화와 국산화가 요구됨
  
- 국내 `18년 1천만원/kg (충전소용량당 설치비용)을 30년까지 300만원/kg으로 낮출 예정.
  
- 국내 수소충전 가격 목표는 22년까지 6천원/kg, 40년까지 3천원/kg을 목표로 하고 있음.

- EU는 수소충전소 시스템에서 500 bar 시스템은 800 ~ 1,500 €/kg-H<sub>2</sub>가 소요되는 것으로 NewBusFuel project에서 보고하였고 미국 DOE에서 H2A 모델에서 추산한 비용은 350 bar의 경우 1,350 €/kg-H<sub>2</sub>, 700 bar의 경우 2,000 €/kg-H<sub>2</sub>로 계산됨
- 수소 10kg 이상을 저장하는 자동차(버스, 트럭)의 경우 SAE J2601-2의 연료공급규약을 따르며 아직 700 bar 수소저장시스템에 수소를 충전하는 연료공급 규약은 국제적으로 통용되지 않고 있음.
- 일본은 JPEC S0003을 통해 수소버스 충전에 대한 프로토콜을 시행하고 있으며 현재 수소 버스의 충전에 약 15분 소요되고 있음. 이는 일본 수소버스의 용기 압력이 700bar (내용적 600L, 약 35kg 수소용량)인 점을 감안하면 J2601-2에서 350bar 기준 fast filling인 120 g/sec의 유량이 아닌 60 g/sec이하의 유량 조건에서 충전을 진행하는 것으로 사료됨.

### *Iwatani's Tokyo-Ariake Hydrogen Station for Bus Refueling*



**Tokyo-Ariake Hydrogen Station**  
(Source: Iwatani's website)

**Location:** 1-8-5 Ariake, Koto-ku, Tokyo  
**Area:** 3,200 m<sup>2</sup>

**Main Features:**

- 1. Hydrogen Supply System**  
Liquid Hydrogen Storage
- 2. fueling Capacity**  
FCV: 16 vehicles/h  
FC Bus: 4 buses/h
- 3. fueling time**  
FCV: 3 min/vehicle  
FC Bus: 15 min/bus
- 4. Cryogenic Pump**  
Capacity: 80kg/h  
In: 0.3MPa / Out: 82MPa
- 5. Storage**  
Volume: 300L x 8  
System: 3-bank Switching System  
Max. Operating Pressure: 82MPa

그림 18. 일본 도쿄의 수소 버스 충전 시설

- NEL사는 수소버스 충전용 H2STATION 시스템을 개발하여 적용
  - 400kg/day, 350bar, 상온에서 10분-15분에 40kg을 충전하는 시스템을 구현
- 다수의 수소버스 충전비용 저감을 위해 수소 버스 충전방식과 압축기와 저장용기의 조합에 대한 최적화 연구가 필요
  - 이를 통해 건설비용 절감이 가능할 것으로 예상



그림 19. nel 사의 수소 버스 충전용 수소 스테이션

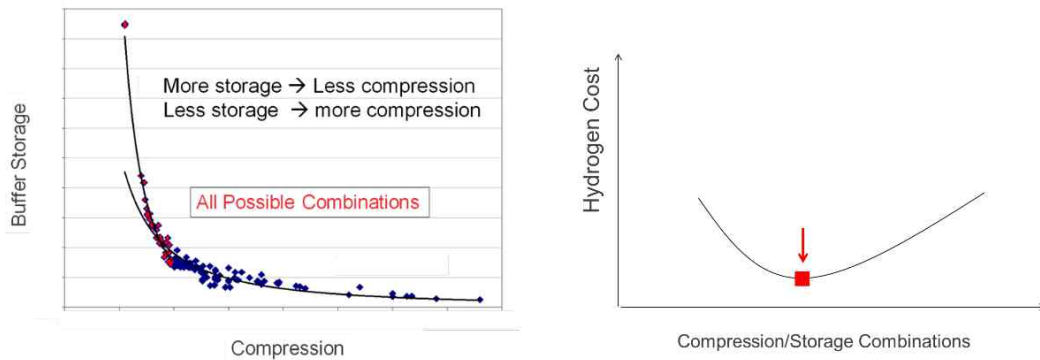


그림 20. 수소 저장용기와 압축기의 구성에 따른 수소 충전가격 최적화

- 수소버스의 충전속도, 수소버스의 충전 수량, 충전간격 등에 대한 최적 조합을 통해 수소충전소의 설치비용을 줄이고 수소충전비용을 줄이는 최적화 연구가 NREL, Argonne Lab에서 진행 중



그림 21. 다양한수소 충전 옵션에 따른 수소 버스 충전비용 변화

- 일본은 NEDO를 통해 수소충전시스템의 건설비용 최소화와 수소충전 효율화를 위한 연구를 진행하고 있음. 그 내용은 충전시스템의 요소 기술들의 조합과 개별 기술의 개발, 표준화 등에 대한 것임.

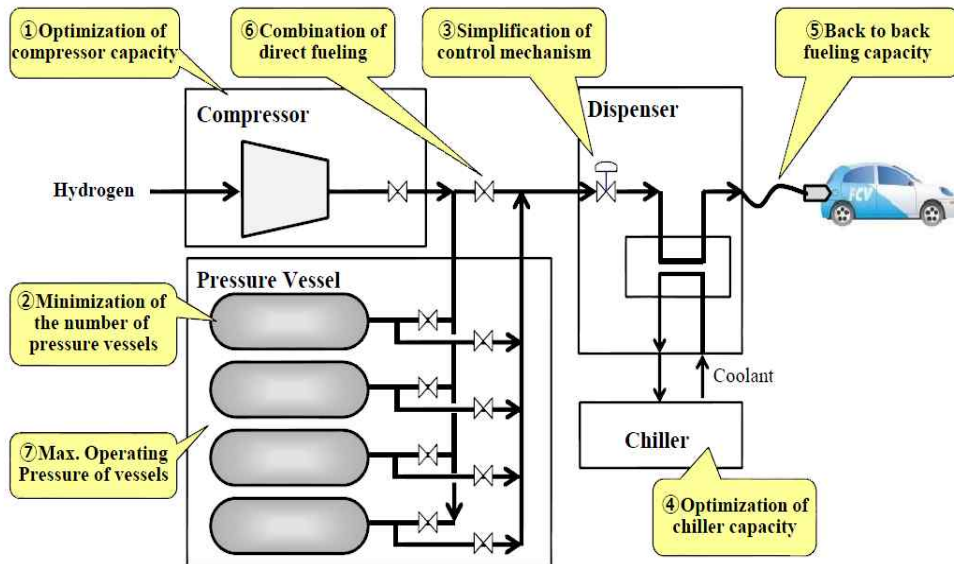


그림 22. 일본 NEDO의 수소 충전시스템 가격 저감을 위한 기술 개발

□ 대형 수소 공급 시스템 개발 추세

**요약**

- 1500 kg/day이상 대형 수전해 시스템 개발
  - 상용 대형 수전해 장치 효율 향상으로 기술개발 : 국내 대형 수전해 장치는 있으나 효율이 낮으며 BOP의 최적화가 미비하여 정체
  - 고효율화를 위한 대면적 활성 전극 기술 및 접합 기술 추진
  - 모듈화를 통한 용량 대응성 확대 추진
  - 고온 환경 대응 시스템 기술 추진
  - 대용량 수소공급 시스템 안전 기준 및 설비 기준 개발 추진
  - 단위스택 100 Nm<sup>3</sup>/h이상으로 시제품 검증, 단위모듈 400 Nm<sup>3</sup>/h급 설계, 복합 생산 용량 1000 Nm<sup>3</sup>/h 급 설계 추진

- 1920년에서 1930년대에는 물 전기분해에 의해 생산된 수소가 암모니아 비료공업에 쓰이면서 노르웨이와 캐나다를 중심으로 상품화 및 개발이 진행

- 1939년에는 단일 수전해 장치에서 10000 Nm<sup>3</sup>/h까지 생산 가능한 가장 큰 규모의 설비가 작동. 1950년대까지 대량 수소 제조에 수전해가 많이 사용되었으나 스팀리포밍기술이 상용화되면서 가격경쟁력을 상실
- 석유화학 및 대규모 수소제조에는 주로 스팀리포밍 기술이 사용.
- 2000년대에 들어 지구온난화와 재생에너지의 확대로 친환경적인 수소의 공급에 대한 관심이 증가하면서 수전해 기술이 다시 주목받기 시작하였으며 전력계통의 안정화를 위한 대용량 에너지 저장 및 전환에서 수전해의 유효성이 다시 조명.

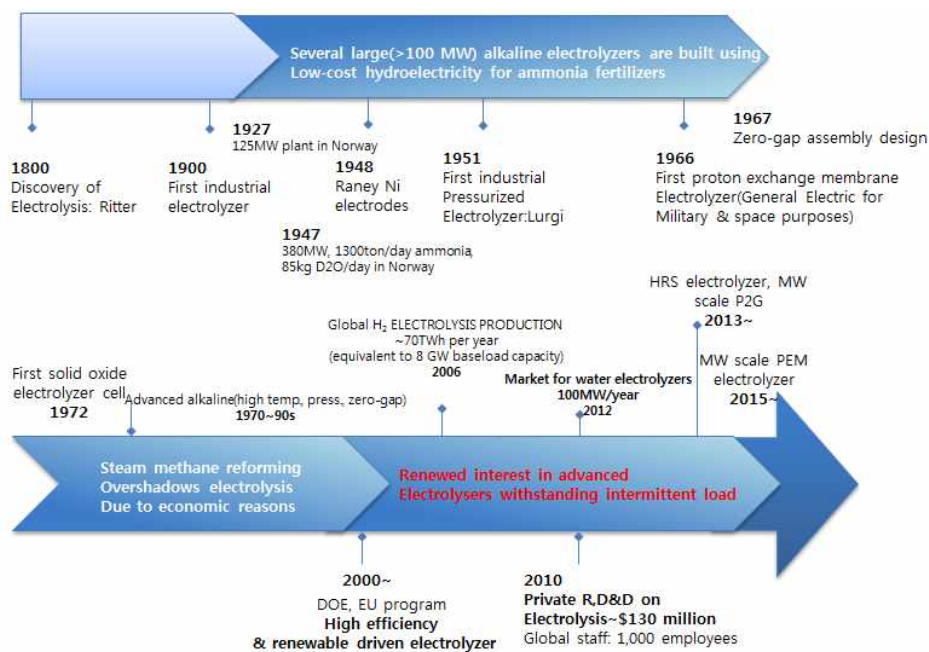


그림 23. 수전해 기술 개발 역사

- 수전해 기술 중 알칼라인 수전해 (AE)와 PEM 수전해 기술이 상용화됨
  - 알칼라인 수전해는 100년이 넘는 기간 동안 발달하여 신뢰성과 가격, 내구성, 효율에서 완숙단계
  - PEM 수전해의 경우 알칼라인 수전해에 비해 작은 스택 크기로 많은 양의 수소를 제조할 수 있지만 아직 가격 및 내구성에서 개선이 필요
- 알칼라인 수전해 시스템 가격은 1,200 ~ 850 €/kw로 PEM 수전해에 비해 가격이 저렴하며 내구성도 뛰어나.

- 대용량 수전해의 경우 알칼라인 수전해를 주로 이용.

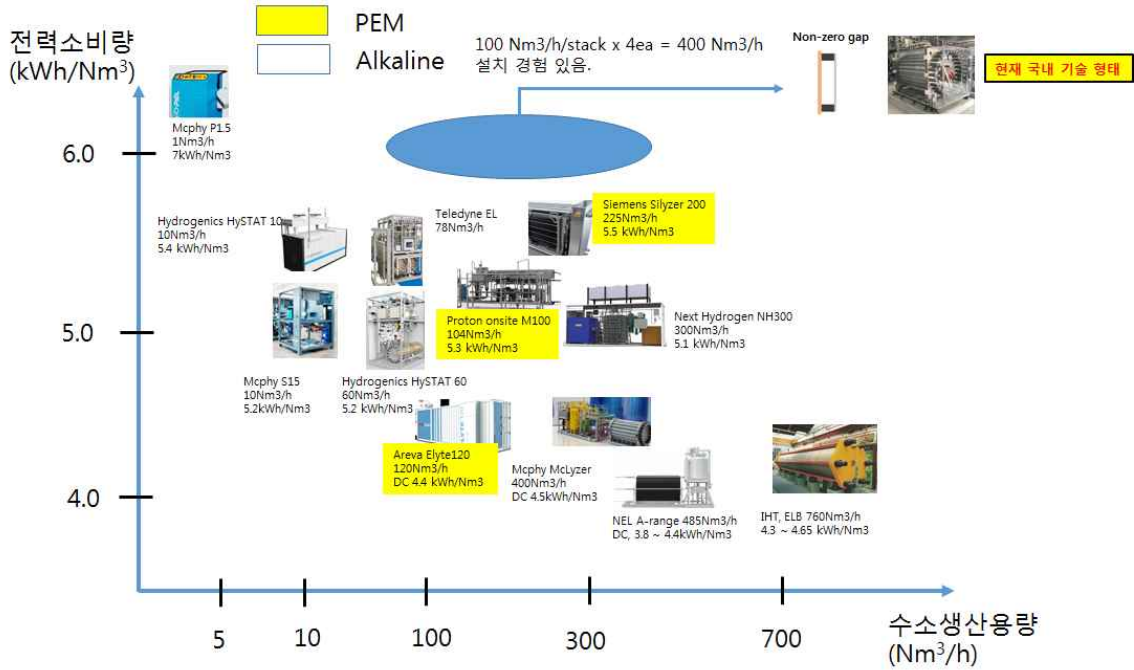


그림 24. 국내의 수전해 장치 용량 및 효율 자료 정리

- 국내 알칼라인 수전해의 경우 국내업체가 60 Nm<sup>3</sup>/h (15 Nm<sup>3</sup>/h/stack)으로 대구 수소충전소에 적용한 사례가 있으며 동일업체가 400 Nm<sup>3</sup>/h (100 Nm<sup>3</sup>/h/stack)으로 시스템을 납품한 실적이 있으나 분리막과 전극이 떨어져 있는 구조의 스택으로 효율이 낮아 이에 대한 개선이 필요
- 국내에서는 알칼라인 수전해 기술 개발의 경우 산업부에서 직경 40cm 수준의 전극개발이 '상용모재 기반 알칼라인 수전해 전극기술개발'로 진행되고 있으며 이 기술을 이용하여 업체는 5~10 Nm<sup>3</sup>/h 급의 시스템을 개발하고 있음



그림 25. 국내에서 개발중인 AE 시스템 전극 효율 및 스택 사진

- 해외의 경우 직경 1.6 m 크기의 전극을 이용하는 수전해 스택이 상용화 됨
  - 이 시스템의 성능 향상을 위한 연구와 재생 전력과 연계한 수소 제조 기술 개발이 진행

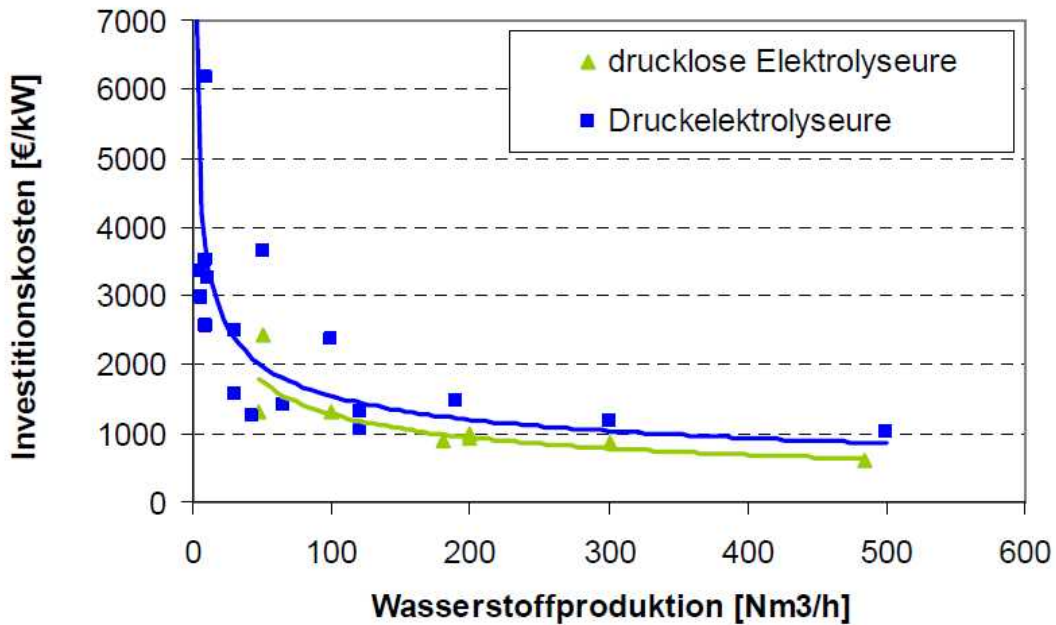


그림 26. 알칼라인 수전해 장치 용량 별 가격 변화

- 프랑스 McPhy사는 100~400 Nm<sup>3</sup>/h 규모의 모듈화된 수전해 설비를 공급함.
  - BOP는 동일하게 설계하여 필요에 따라 용량을 증설할 수 있도록 구조화함
  - 수전해 설비와 수소 버스 충전설비를 통합하는 수소충전소를 제안
  - nel 사 역시 대형스택과 BOP를 모듈화(Cluster design)하여 8 ton/day의 시스템 구성을 통해 설치비용 저감하는 전략을 개발
- HyProvide, Large-Scale Alkaline electrolyzer(MW) 개발
  - GreenHydrogen.dk와 Siemens, DTU(Technical University of Denmark), Aarhus University 가 함께 진행한 MW급 알칼라인 수전해 기술 개발과제
  - 재생에너지의 저장을 위해 124 Nm<sup>3</sup>/h ~ 1,000 Nm<sup>3</sup>/h급의 스케일 업이 가능한 대형 알칼라인 수전해 시스템 개발을 목표로 진행
  - 결과물로 고효율, 저가의 모듈형 250kW급의 60 Nm<sup>3</sup>/h급의 수소생산을 할 수 있는 스택과 시스템을 개발완료

○ OFCH-JU, ELYGRID project

- 재생전력의 흔들림으로부터 전력망의 안정성을 확보하기 위한 대형 알칼라인 수전해 기술의 향상과 수소생산 비용 저감을 목표로 2011년에서 2014년까지 진행
- 수전해 셀의 성능을 개선하기 위한 소재 선정 및 분리막 개선 연구, AC/DC converter 성능 개선, BOP 및 O&M 비용 저감을 위한 개선 및 최적화, Model 수전해 장치를 이용한 Field Test을 진행

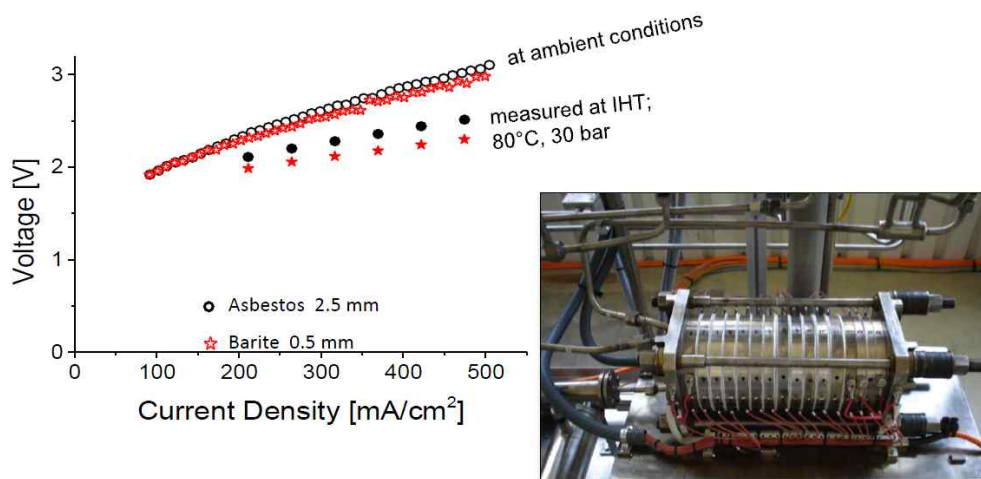


그림 27. Elygrid에서 개발 및 테스트된 실험실 규모 수전해 스택 및 실험 결과

○ Reselyser, Hydrogen from RES

- pressurised alkaline electrolyser with high efficiency and wide operating range, DLR, VITO, Hydrogenics, DTU가 함께 진행한 고효율, 고압의 운전범위가 넓은 알칼라인 수전해 장치 개발 연구
- 2011 - 2014, 2.89 M€의 자금이 투입
- 30kW급의 스택을 25bar에서 운전하고 3000 €/(Nm³/h)의 가격으로 시스템 공급이 가능하도록 개발하는 것이 목표임

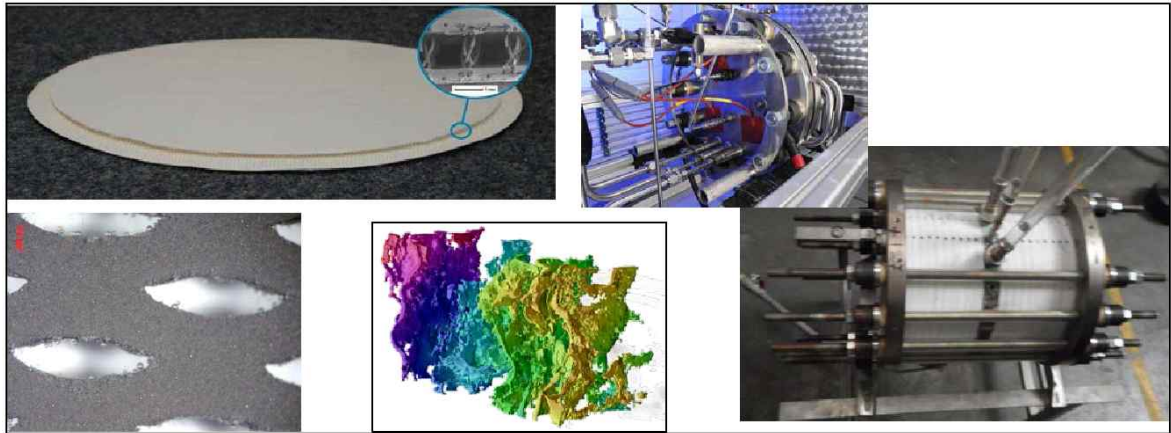


그림 28. Reselyser를 통해 개발된 300 cm<sup>2</sup> 셀, 분리막, 전극 및 스택

○ DEMOGRID 프로젝트

- 대용량의 빠른 응답성 알칼라인 수전해 장치를 통해 전력계통 안정화 서비스와 수소시장내 수소공급을 목표로 수행
- 2017 ~ 2022까지 7.7 M€의 연구자금으로 실증 프로젝트, DBC사, MPREIS, IHT, Inycom, fensystems, Aragon hydrogen foundation이 참여

○ ELY40FF, 프로젝트

- 독립전력계통에서 재생에너지를 활용하는 PEM 수전해 기술 개발이 목표
- 2017 - 2020까지 2.3 M€의 연구자금으로 배터리 시스템과 함께 50kW급 PEM수전해 장치를 통해 재생전력과 연계하여 수소를 공급
- ITM사, epic power, Inycom, Aragon hydrogen foundation이 참여

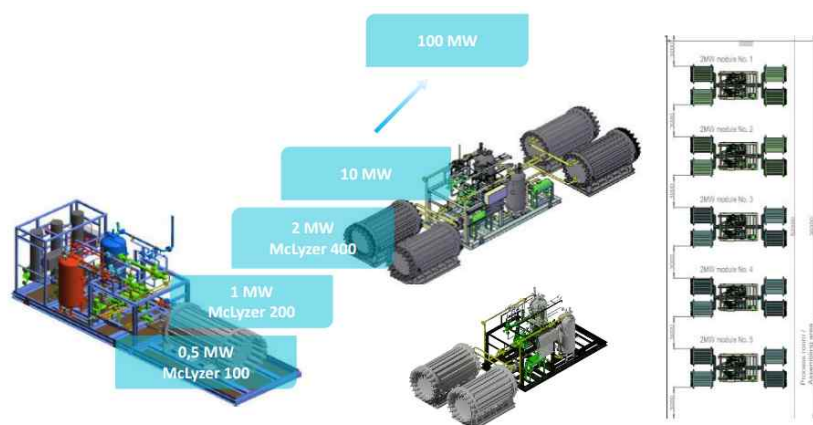


그림 29. Mpcphy사의 모듈형 수전해 시스템



### Cluster of 8 A485 electrolyzers – capacity 8t/day

그림 29. nel사의 상압 수전해 스택을 이용한 모듈화된 수전해 시스템

- 특히 HyProvide를 통해 개발된 시스템은 GreenHydrogen사에서 제작, 판매하고 있으며 90°C 이상의 온도에서 작동하기 위해 고온 내구성을 갖는 폴리머 재질을 사용
  - 고온, 고농도 KOH에서 내구성을 갖는 소재의 사용을 통해 효율 및 전류 밀도를 향상시키는 기술 개발 진행.

### 2.3 대중교통시스템 시장 변화에 대한 대응 전략

#### □ 해외 친환경 수송수단 시장 변화에 대한 대응전략

- 중동지역의 경제력과 에너지 전환에 대한 대응 전략

#### 요약

- 중동지역의 경우 석유 및 천연가스의 소진 이후 에너지 전환에 관심이 많으며 태양광 발전 단가가 매우 낮아 이를 활용하는 방안으로 수소생산이 타당성을 가질 수 있음.
- 중동의 경우 충분한 경제적 능력을 바탕으로 진보적인 기술과 친환경적인 기술에 대한 적용에 적극적이며 수소버스와 수소충전시스템, 수소공급 시스템의 패키지를 통한 시장 진출 가능성이 높음.



그림 30. `18년 일본 도요타와 UAE 현지 자동차 판매 업체간 건설한 UAE 최초 수소 충전소

- UAE의 태양광 발전 단가는 20원/kWh 수준으로 매우 낮아 이를 활용하여 수소 생산을 하여 이를 수송 분야에 활용하거나 더 나아가 수소를 수출하는 방안까지 검토되고 있음.
- UAE는 현재 98%를 화석연료에 의존하고 있으나 2050년까지 신재생에너지로부터 75%를 충당할 예정임.
- 우리나라도 장기적으로 안정적인 수소공급을 위한 해외 수입이 필요할 것으로 예측되는 바, 이를 공급할 수 있는 중동지역과의 교류와 공동사업이 필요.
- 일본의 경우 전략적으로 UAE에 수소 관련 사업을 진행하고 있으며 일본 정부 역시 장기적으로 UAE 등지에서 수소를 수입하는 방안까지 검토하고 있어 이에 대한 정부 및 기업의 대응 필요
- Simens는 두바이의 전력 수자원(DEWA)과 협약을 통해 Mohammed bin Rashid Solar park에서 수전해 수소생산 project를 진행 중이며 일본의 경우 전략적으로 민관이 UAE에 수소 관련 사업을 타진하고 있어 우리나라의 적극적인 대응이 필요함.
- 중동지역에서 우리나라의 기술에 대한 평가가 높으며 경쟁력이 있는 현대수소버스를 수소충전시스템 그리고 수소공급시스템을 패키지화하여 사업을 진행하면 성공 확률을 높일 수 있고 현지 조직과 인력을 활용하여 운영사업까지 진출하는 전략 구상 필요.

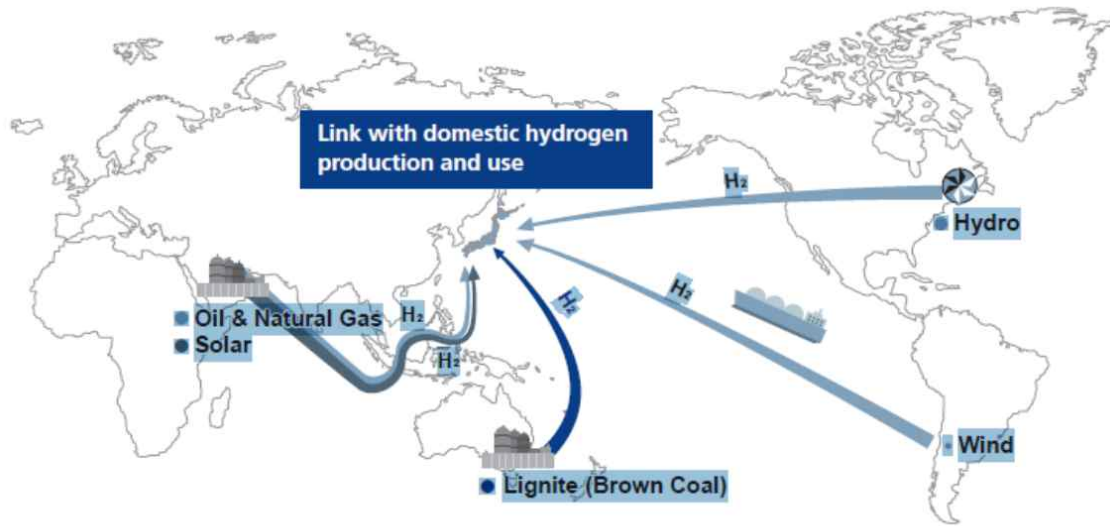


그림 31. 일본 해외 수소 수입 방안(출처: Tokyo Institute of Technology 2016)

○ 중동지역의 현지 환경에 적응형 기술 대응 전략

**요약**

○ 중동지역은 낮 대기 온도가 50℃에 육박하여 이러한 고온 환경에서 적용될 수 있도록 기존의 수소버스 및 충전시스템, 수소공급시스템에 대한 기술적인 보완 필요

- Air Liquide사는 UAE에 수소충전소를 설치하면서 중동 기온이 50℃를 넘는 경우에 대비해 기존의 수소 압축에서 적용되는 one air-to-air 열교환방식에서 two water-to-air 열교환 방식으로 변경하는 등 현지에 맞는 기술을 적용하여 테스트 중
- 국내 수소버스는 현재 Type4 700 bar 용기를 사용하고 있으며 이 용기를 충전하는 연료주입 표준은 JPEC-S0003을 준용하여 적용하고 있으나, 국제적인 표준은 SAE J2601-2를 따르며 350bar 용기에 적용하도록 되어 있음
- Type4 용기는 연료주입 중이나 주행 중 85℃를 넘으면 안되기 때문에 현지 고온 환경에 맞춘 350 bar 압력용기의 적용과 충전시 수소의 부분적인 냉각을 고려하여 기존의 700bar용기를 사용하더라도 가스의 냉각을 강화하는 설계가 반드시 필요.

Tank Type	Fueling Rate [kg/min]	Required Temperature at Dispenser [°C]
III (350 bar)	1.8	No precooling required
	3.6	No precooling required
	7.2	No precooling required
IV (350 bar)	1.8	No precooling for 350 bar
	3.6	20°C for 350 bar
	7.2	5°C for 350 bar

그림 32. 350bar 수소버스 충전의 경우 수소 가스 냉각의 필요 사항  
(출처: Agonne Lab. Hydrogen Refueling Analysis of Fuel Cell Heavy-Duty Vehicles Fleet, Sep. 2018)

- 압축기의 cooling시스템 보완, 수전해 시스템의 냉각 및 수소수요에 따른 부하 변동성 대응을 위한 수전해 시스템의 BOP 대응 기술 개발이 필요.
- 특히 수소버스의 충전압력을 낮추는 경우 냉동기와 압축기 및 저장용기의 사양을 낮출 수 있으며 국산화가 가능한 부분이 많아 충전소 건설비용을 낮출 수 있어 적극적 검토 필요
- 수전해 시스템의 경우 상대적으로 국내 supply chain이 잘 구성된 알칼라인 수전해를 적용하고 기존의 기술에서 전극의 성능을 향상시키고 대형화와 고온에서 안전한 재료의 선정을 하여야 하며 대용량 수소 공급에 경쟁력을 갖추기 위한 BOP부분의 대폭적인 가격 저감과 모듈화 설계를 통한 수소공급의 유연성 제공을 강화.

**Capital Costs of Hydrogen Fueling Stations  
(Simulated)**

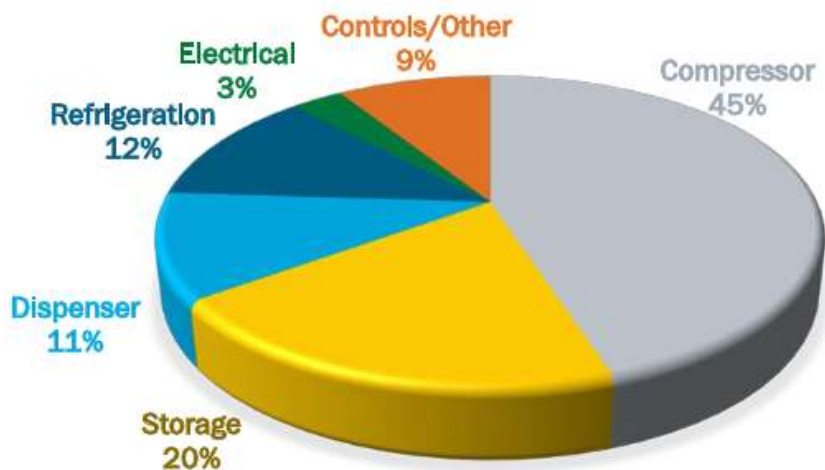


그림 33. 수소 충전시스템에서 주요 장치별 가격 비중 (DOE)

○ 미국 및 유럽 시장 진출 대응 전략

- 현대차는 스위스의 H2 Energy사와 함께 현대하이드로젠모빌리티사를 설립하고 이 회사에 2025년까지 7년간 매년 단계적으로 총 1600대의 수소트럭을 공급할 예정.
- 현대자동차의 수소트럭, 수소버스의 기술적 우위를 바탕으로 국내 및 중동지역에서 대용량 수소충전시스템의 검증을 통해 track record를 확보하고 이를 팩키지화하여 유럽 및 미국 시장에 대한 공략하는 전략 구사 필요.



그림 34. 현대 자동차와 스위스 수소에너지 기업의 합작법인 설립

□ 대형 수송 기술변화에 대한 대응전략

**요약**

- 2022년까지 수소버스 2000대, 2040년까지 버스 4만대 운영, 트럭 3만대 운영으로 수소를 이용한 대형 수송수단 및 이에 필요한 충전시스템, 수소공급 시스템에 대한 수요가 증가할 것으로 예측됨.
- 수소버스의 경우 경쟁력을 갖지만 수소충전시설과 수소공급기술의 경쟁력은 떨어져 이에 대한 보완 필요
- EU, 일본, 미국, 중국에서 수소버스와 수소충전시설, 수소공급에 대한 실증 및 보급이 진행되고 있으며 장기적으로 대형수송분야에서 수소의 역할일 커질 것으로 기대됨.
- EU, 미국, 일본은 수소충전시스템에 대한 강점을 갖고 있으며 중국은 큰 시장과 관 주도의 시장 재편이 가능하여 이를 이용한 기술획득 및 축적을 통해 경쟁력을 가지게 될 것으로 예측됨.
- EU, 미국은 대형 버스 및 트럭의 효율적이며 가격 경쟁력 있는 충전에 대한 연구를 진행하고 있으며 EU, 일본, 미국을 중심으로 장기적으로 수소의 공급을 재생에너지로 충당하기 위한 수전해 기술 개발이 진행 중.

○ 국내외 대형 수송 시장에 대한 대처현황 및 예측

- 국내 수소충전시설의 건설은 효성, 이엠솔루션, NEL, 제이엔케이히터, NK, Air Liquide, 광신 등이 참여하고 있으며 국내 업체는 효성, 이엠솔루션, 제이엔케이히터, NK 등이 존재
- 국내에 설치되고 있는 수소충전시설은 주로 승용차를 대상으로 하며 일부 버스를 충전할 수 있게 설계되고 있으나, 버스 전용의 설계 개념은 아직 없음
- 50kg/h 내외의 압축기 용량으로 설계되고 있어 수소버스의 동시 충전 등은 어려운 상황이며 버스의 연속적, 지속적 충전 시 관련 제반 저장 및 압축기가 이를 충당할 수 없는 형태의 설계임.
- 국내 업체의 경우도 700기압의 수소충전시설의 핵심 시설인 압축기와 저장용기를 해외 기술에 의존하고 있으며 각종 밸브, 유량계 등 핵심 부품류도 해외 기술에 의존하고 있음. 700기압 수소충전소 국산화율 40%, 가격 비중으로 국산화율을 고려시 30% 이하로 분석됨
- 국내에 대형차량을 대상으로 하는 전용 수소충전시설의 건설 사례가 없으며 이에 대한 경제성 및 기술성에 대한 검토조차 되지 않고 있는 실정임.
- 대중 교통 수단으로 버스 및 트럭 등의 대형 차량의 충전시설이 경제성을 갖기 위해서는 50 ~ 100대 규모의 충전이 가능한 시스템으로 확장이 필요.
- 국내의 경우 수소의 공급에서 지역적 특성에 따른 경제적인 공급방안 마련이 필요하다. 즉 부생수소가 많이 발생하는 지역과 내륙지역, 재생전력이 많은 지역에 따라 수소공급 방안의 적절한 배분이 이루어져야 함.

◇ 수소경제 이행 로드맵

□ 수소 모빌리티 (누적)

\* ( ) : 내수

		2018년	2022년	2040년
모 빌 리 티	수소차	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (7만대)	620만대 이상 (290만대)
	승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
	택시	-	-	12만대 (8만대)
	버스	2대 (한채)	2,000대 (한채)	6만대 (4만대)
	트럭	-	-	12만대 (8만대)
	수소충전소	14개소	310개소	1,200개소 이상
	열차선박드론	R&D 및 실증을 통해 '30년 이전 상용화 및 수출프로젝트 추진		

· 위 수소차 목표는 내수와 수출을 포함한 생산량임

그림 35. 수소 경제 이행 로드맵내 버스 및 트럭 보급 예측

- 국내 및 해외의 선진국의 경우 장기적으로 재생전력을 활용한 수소공급이 주류를 이룰 것으로 예상되며 특히 유럽은 수전해로 수소를 공급하는 시설이 증가할 것으로 예측됨. 또한 재생전력이 저렴한 중동, 호주 등은 이러한 수소생산이 주류를 이룰 수 있음.

○ 기존 대중교통에 대한 운영비 저감 대응전략

- 해외의 경우 EU, 미국은 버스 및 트럭의 수소충전에 대한 기술 및 경제성 검토를 진행하였으며 대용량 수소 충전시설의 구성에 대한 다양한 안에 따른 충전비용의 영향을 분석 하였으며 이를 기반으로 충전시설과 차량의 규모에 대한 보급 안을 제시하고 있음.
- EU의 경우 수소버스 최종 공급 수소가격이 최소 5£/kg이면 디젤과 유사한 연료비용이 드는 것으로 환산<sup>8)</sup> 반면 NEL사는 5€/kg으로 제시하고 있음.
- 국내에서 700기압 수소충전소(250kg/day)는 아래의 그림과 같은 형태를 주로 취하고 있으며 설비비용은 18 ~ 25억으로 대략 1천만원/kg/day의 비용 소요

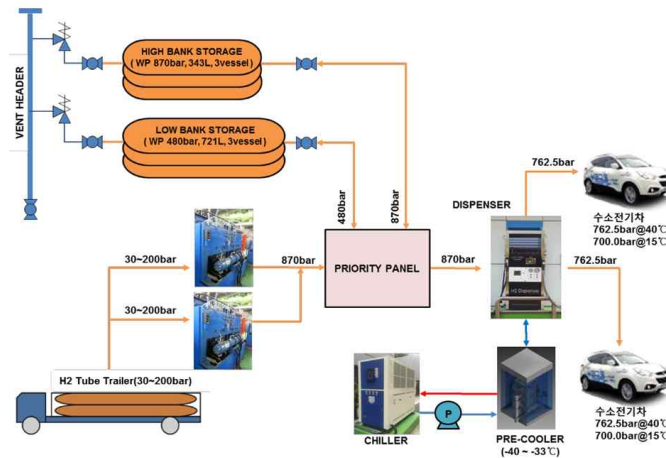


그림 36. 국내 승용차용 충전시설의 예 (압축기 2개)

- 단순 계산으로 수소버스 50대를 기준으로 1,500 kg/day의 충전소를 90% 운영률로 운영하고 충전소 건설비용이 1 천만원/kg/day, 감가상각을 10년으로 가정시, 각 중 부대 비용과 수소 매입비용 (3천원/kg)을 포함하여 수소의 충전가격은 약 7700원/kg을 넘어 향후 수소버스 연비 (15km/kg) 목표를 달성하더라도 디젤버스의 운영비 보다 많이 소요
- 충전소 건설비를 5 백만원/kg/day 수준으로 낮추면 디젤버스보다 저렴한 운영비가 소요될 것으로 예상됨.

8) Update on European hydrogen bus activity, sep. 2018, Elementary Energy Limited.

- 수소매입비용 3,000 원/kg이 아닌 수소충전소의 충전비용을 3,000원/kg으로 낮추어야 경제성 확보가 가능
- 이는 충전소 건설 비용의 저감과 버스를 45 대/day이상 충전할 수 있는 시스템 구성과 버스의 운행 시간내에 충전이 가능하도록 기술 개발이 요구

표 2. 수소 충전 비용에 따른 수소 버스 운행비용 및 향후 예측 비용 (현재 연비:10 km/kg, 향후 목표 15 km/kg, 디젤 버스 연비 401원/km (3.49 km/L, 경유 1,400 원/L 가정)

수소 충전가격	수소버스 현재운행비용 (원/km)	수소버스 미래운행비용 (원/km)
3000원/kg	300	200
4000원/kg	400	266.6667
5000원/kg	500	333.3333
6000원/kg	600	400
7000원/kg	700	466.6667
8000원/kg	800	533.3333
9000원/kg	900	600
10000원/kg	1000	666.6667

- EU는 NewBusFuel project를 통해 수소버스인프라 구축에 도전요소로 2000 kg/day의 충전량, 하루 중 한정된 충전시간, 버스차고지의 공간적 한계, 수소저장량 확보 등의 해결을 위한 연구를 진행 중에 있으며 관련 충전시설의 설계안과 경제적인 대형수소운송에 대한 안을 제시하는 것을 목표로 하고 있음.

○ 수전해 기술의 대용량화, 저가화, 효율화

- EU는 전통적으로 수전해 기술이 발달하였으며 특히 알칼라인 수전해 기술은 세계적인 수준이다. 이러한 강점을 바탕으로 2030년까지 장기적으로 장치의 가격을 400€/kW, 수소생산시 전력소모 48 kWh/kg을 목표로 하고 있음<sup>9)</sup>.
- NEL사는 A-485 상압알칼라인 수전해 장치를 기반으로 이를 2 set 단위씩 묶어 최대 4 set를 1개의 모듈로 8 Ton/day의 수소를 생산하는 시스템 제안. 또한 2.2 MW급의 수전해 스택 3개로 구성된 모듈을 통해 2 Ton/day의 수소를 공급하고 수소를 충전하는 시스템 제안.

9) Addendum to the Muti-Annual Work Plan 2014-2020, FCH-JU

- Thyssenkrupp사는 클로로알칼리 기술을 활용하여 알칼라인 수전해 시스템을 개발하였으며 용량도 기본 5MW급이며 이를 모듈화 하여 20MW급의 시스템 공급을 제안.

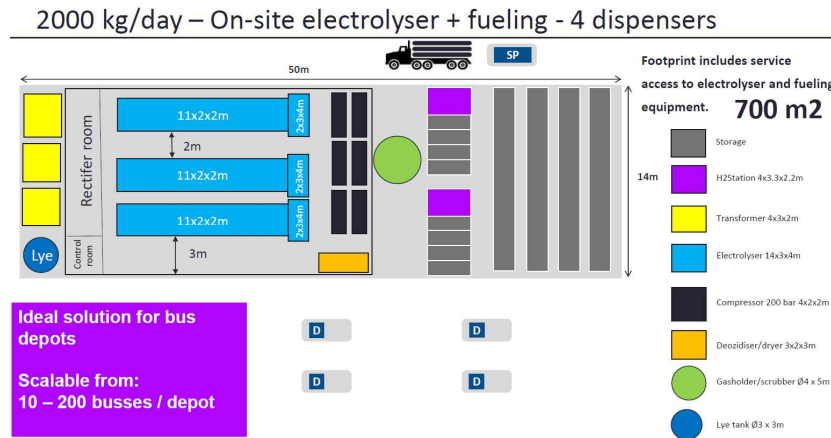


그림 37. nel 사에서 제안한 대형 AE 수전해 및 수소충전 시스템

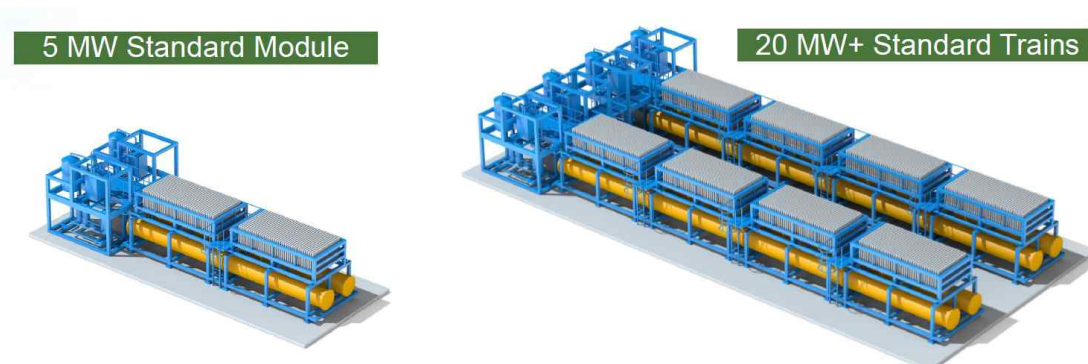


그림 45 Thyssenkrupp사의 모듈형 대용량 알칼라인 수전해

그림 38. Thyssenkrupp 사의 모듈형 대용량 AE

- 알칼라인 수전해기술은 귀금속을 사용하지 않으며 대부분의 원료가 국내에서 수급 가능. 아울러 국내에서 400 Nm<sup>3</sup>/h급의 제품 납품 등의 상업화 실적이 존재
- 하지만 정형화된 제품 모델이 없어 BOP의 최적화가 이루어지지 않았으며 상대적으로 활성 전극을 사용하지 않아 효율이 낮음.
- (모듈화) 다양한 용량의 수소생산 대응 수단으로 모듈에 따른 BOP를 최적화
- (최적화) Power supply 및 정제 시스템도 최적화 하여 시스템 경쟁력 확보
- (모듈화) 전극 활성화를 통한 고 효율 달성과 극한 환경에서 안정된 운전을 위한 냉각시스템과 고온에서 안정적인 셀프레임 적용 등의 연구가 요구

## 2.4. 수소기반 대중교통 인프라 기술의 경제적 타당성 검토 및 전략 검토

### □ 수소기반 대중 교통 인프라 기술의 타당성 검토

#### ○ 중동지역 저가 재생 전력을 이용한 수소 공급

- UAE 지역의 태양광발전 단가 20 원/kWh, 수전해 효율 5 kWh/Nm<sup>3</sup>,을 고려할 경우 수소의 생산 가격을 계산하면 약 2500원/kg 임.

\* 300 Nm<sup>3</sup>/h급의 수전해 장치의 가동율이 70%, 장치수명 10년, 장치 단가 100 만원/kWh, 불변 할인율 8%로 환산을 가정

- 현 알칼라인 수전해 장치는 PEM 수전해에 비해 가격 경쟁력을 확보한 상황임.

· 알칼라인 수전해 장치의 가격은 장치의 규모에 따라 800 ~ 2000 \$/kW이나 국내 장치의 경우 150 만원/kW - 200 만원/kW이므로 최적화를 통해 **100만 원/kW 이하로 저가화를 목표**

· 장치 효율 6 ~ 7 kWh/Nm<sup>3</sup>에서 **5 kWh/Nm<sup>3</sup> 수준 이하로 효율화**

· 50°C의 고온 환경에서 안정적으로 적용될 수 있는 **고내식성, 고강도, 고온안정성을 갖는 셀프레임을 적용하고 냉각시스템의 보완이 필요**

- 1,500 kg/day의 용량의 대중 교통 수소인프라 시스템에 필요한 수소를 공급하기 위해 기본 단위인 400 Nm<sup>3</sup>/h의 모듈 설계를 하여 두 개를 설치하고 수소의 필요량에 따라 탄력적으로 운전할 수 있는 시스템 구성

· 시스템 대형화를 통해 BOP 및 전기 장치 가격 저감 전략 개발

- 전력 단가가 20 원/kWh이면 수소생산가격이 2,100원/kg으로 경제성 확보 가능. 따라서 UAE와 같이 전력가격인 낮은 경우 수소 공급가격을 3,000원/kg이하로 낮출 수 있을 것으로 평가됨

#### ○ 대용량 충전시스템의 구성을 통한 충전비용 경제성 검토

- 디젤버스의 연비는 3.49 km/Liter(출처: 국립환경과학원 교통환경연구소, 2012), 경유 가격 1400 원/Liter으로 환산시 디젤버스의 연비는 401원/km임.

- 수소버스 연비 2018년 10km/kg, 2030년 15km/kg으로 산업부 수소경제활성화 로드맵에서 표현하고 있으나 DOE 및 해외 자료를 참고하면 8 miles/kg이 달성된 것으로 되어 있어 이를 환산하면 12.8 km/kg임. 따라서 본 경제성 검토에서는 수소버스의 연비를 15 km/kg으로 환산. 수소버스의 운행비용이 400 원/km이면 디젤버스와 유사한 운행비용이 나오고 이를 달성하기 위한 수소의 충전가격은 수소매입비용을 합하여 6000원/kg이하이어야 함.

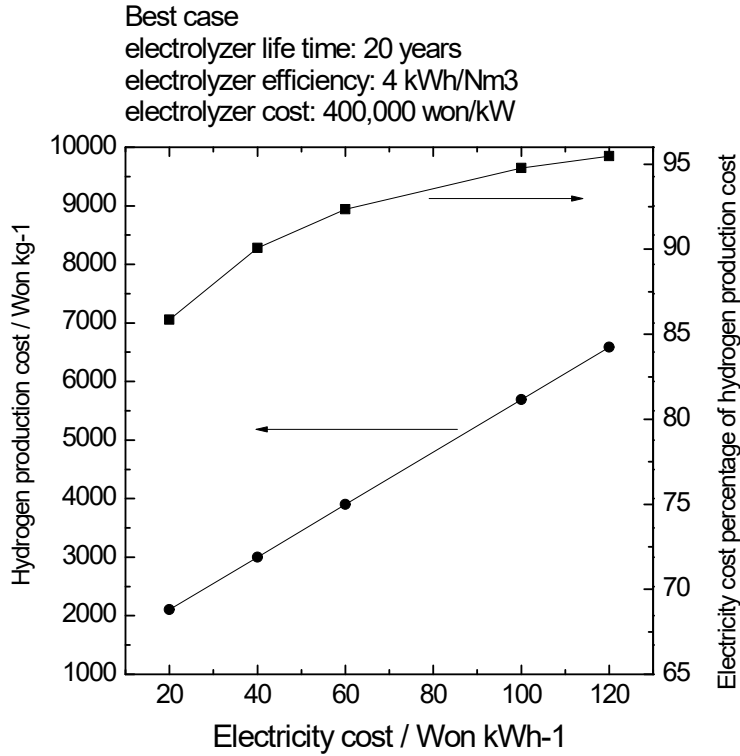


그림 39. 국내 수전해 수소생산 Best case의 전력 가격에 따른 수소생산 가격 (불변할인율 8%, 산업용 고압 A 선택 II 기본요금 8320원/kW, 300 Nm<sup>3</sup>/h급 수전해 시스템 기준)

- 국내 수소충전소의 건설비용은 현재 250 kg/day의 경우 약 25 억원이며, 환산 시 1천만원/kg/day에 해당함. 대용량 수소 충전시설의 경우 압축기 및 저장시스템, 냉각시스템의 최적 설계를 통해 비용 절감이 가능
- 현재 우리나라의 충전소 건설 비용은 미국의 NREL 예측 자료에 근접하고 있으며 1,500 kg/day 용량으로 시스템이 커지면 건설비용인 500 만원/kg/day 수준으로 낮추어질 것으로 예상함.
- 미국의 대중교통버스용 충전시설 (350bar)의 경우 25대 충전 가능 설비는 5 백 만불의 건설비가 든 것으로 보고됨.

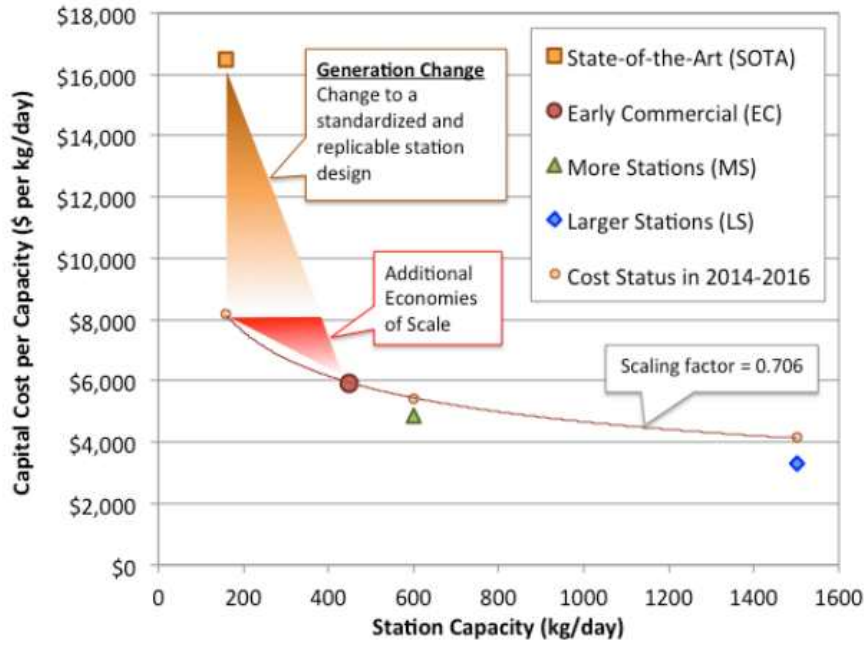


그림 40. NREL 수소충전소 비용분석 발표자료  
(출처: 2012, DOE 수소연료전지프로그램 발표)

### Heavy-Duty Station Costs

#### Fast Fueling

This facility can produce over 360 kg of hydrogen per day, enough to fuel our current fleet of fuel cell buses and cars as fast as ordinary diesel and gasoline vehicles are fueled – buses in six minutes, cars in three minutes!

Hydrogen stations for transit buses cost approximately \$5 million for a station that can fill up to 25 buses a day at 6-to-10 minutes per bus. The stations for *AC Transit* and *Stark Area Regional Transit Authority* have liquid delivery stations, and the *SunLine Transit* station has a large electrolyzer. Based on invoices from the one station, liquid hydrogen is being delivered for about \$9 to \$10 per kilogram. On an energy basis, this is equivalent to \$4 to \$5 per gallon of diesel.

그림 41. 미국 수소 대중교통 버스 수소 충전시설 건설비 (h2stationmaps.com)

- 수소충전소의 건설비용을 5 백만원/(kg/day)로 줄 일 경우 2,845 원/kg의 수소충전비용으로 계산될 수 있음

표 3. 수소 충전소 건설비용 계산

수소충전소 매개변수	수치	비고
시스템 용량	1500 kg/day	
충전소 건설비	75억	5백만원/(kg/day)
운영율	90%	실충전량 1350 kg/day
전기세	3.942억원	전기소모: 8 kWh/kg (실 충전소 4개월 평균전력사용량/충전량), 100원/kWh
인건비	1억원	충전요원 1인, 안전관리요원1인
각종검사료 및 수수료	7.5백만원	건설비의 0.1%
유지보수비	1.5억원	건설비의 2%, 현재 250 kg/day 충전소 3천-4천만원/년
감가상각비	7.5억원	10년 균등
수소충전비용	2,845 원/kg	

- 충전소의 건설비의 감소가 수소충전가격에 미치는 영향이 가장 크며 충전소의 건설비용의 감소가 중요함. 또한 운영율에 따라 수소의 가격 편차가 크게 발생할 수 있다. 운영비 중 전기료가 차지하는 부분이 위 표에서는 크며 전기소모를 8 kWh/kg에서 줄이면 운영비의 감소가 예상되며 충전소 장비의 수명이 20년이상이며 감가상각 금액의 감소분이 커 수소충전비용의 저감시킬 수 있음.

□ 수소기반 대중교통 인프라 기술 개발 및 해외 실증을 위한 전략적 접근

**요약**

- 대중교통 인프라의 건설비용과 운영비용의 절감을 위한 시스템의 최적화 설계가 필요하며 700 bar와 350 bar 충전시설에 대한 운영요건, 안전 및 충전시설 건설 비용 측면 등에 대한 다각적 접근을 통해 충전비용을 3000원/kg이하로 하는 것을 목적으로 함.
- 이러한 설계를 바탕으로 메가 충전소의 모델을 건설하고 수소버스의 안전하고, 신속하며, 연속 및 동시 충전을 검증하고 실 운전 자료를 통해 개선점을 찾아 해외 모델과 국내 향후 건설 메가 충전소에 적용하는 것을 접근 방법 채택. 특히 해외

모델의 경우 압축, 저장, 충전에서 냉각에 대한 보완 기술을 국내 실증에서 적용하여 하절기에 그 효과를 확인하는 연구 진행.

- 모듈형 설계를 통해 단위 **모듈당 400 Nm<sup>3</sup>/h**의 수소를 생산하고 수소수요에 따라 부하변동이 가능하도록 하며 모듈의 숫자를 늘려 수소공급량을 증강할 수 있는 확장성을 확보. 또한 효율성을 확보하기 위해 수소생산 효율 >75%을 목표로 개발.
- 국내에서 검증된 수소기반 대중교통 인프라 시스템을 해외에 구축하고 운영하여 수소버스와 함께 **패키지화된 수출형 수소 대중교통 시스템 모델** 확보.

#### ○ 수소기반 대중교통 인프라 기술의 최종목적

- 수소 충전비용 저감
  - 50대/day 버스를 충전하는 수소충전소 건설 최소 비용 최소화
  - 시스템 설계를 통해 전력 사용량 최소화
  - 수소공급시스템의 효율화 및 모듈화를 통한 가격 및 운영비 저감
  - 해외 현지에 필요한 시스템 보완 및 실증
- 미래 수소 수출 전략 수립
  - 미래 수소 생산 거점화 전략과 함께 해외 공동 협력 방안 수립
  - 에너지와 물 인프라 연계 전략을 통한 국내 기술 해외 진출 전략 수립

#### ○ 기술개발 분야

- 메가충전소 표준모델 설계 및 실증
  - 50 대/day의 대용량 수소 충전시스템의 표준모델 설계를 통해 수소저장 및 압축 시스템, 수소냉각 및 충전시스템의 비용 최소화 설계
  - 350 bar와 700 bar 충전에 따른 다양한 설계안 제시
  - 2대 동시 충전, 연속 충전 대응성 모사 및 시뮬레이션 개발 및 검증
  - 메가충전소 충전 에너지 최소화
  - 수소버스 충전 프로토콜 적용 검증 및 충전 속도 향상, 연속 충전 실증
  - 해외 고온 환경 대비 수소용기 압력 및 온도 변화 예측 기술 개발
- 메가충전소 대용량 수소 공급 시스템 설계 및 요소기술 개발
  - 냉각시스템 및 Power supply 등 고온 환경성 검토 및 대응 설계
  - 모듈화 설계를 통한 BOP 자재 통일, 조달 가격 저감, 최적 설계로 시스템 저가화
  - 고효율 대형 전극 제조 기술과 대형 스택 기술 확보를 위한 비귀금속계 전극 기술 및 막밀착 구조 적용을 위한 셀 형성 기술 개발
  - 고온 내구성 및 내압성을 갖춘 셀프레임 소재 기술

- 효율 75%이상, 100 Nm<sup>3</sup>/h급 시제품 개발 및 400 Nm<sup>3</sup>/h급 모듈 설계, 1200 Nm<sup>3</sup>/h급 확장 설계
- 해외 적응형 수소버스 및 수소충전소 교통 모델의 해외 실증
- 국내 실증 data를 기반으로 해외 적용 수소대중교통시스템 보완 구축
- 현지 관련 인허가 및 법, 제도 적응을 위한 현지 기관 협력 체계 구축
- 해외 운영을 통한 현지화 및 신뢰성 확보
- 현지화된 웹기반 수소버스 운행 및 수소충전소 상황 공유 서비스
- 원격 운영 및 관리 시스템 개발
- 물과 에너지의 인프라 가격 경쟁력 확보 전략
- 중동 지역의 담수화 플랜트와 수전해 플랜트 연계 시 가격 경쟁력 등의 확보를 위한 연계 기술 개발
- 그린 수소 생산을 위한 거점화 센터 추진

○ 연구단 규모로 연구개발 추진

- 대중교통 모델의 핵심은 수소공급가격을 기존 교통수단에 대비하여 경쟁력이 있는 수준으로 낮추는 것이며 이를 실행하기 위해서는 50 대/day 규모의 충전시스템에 대한 설계와 이를 검증하기 위한 실증이 필요하며 비용적인 부담이 클 수 있음.
- 따라서 건설비용을 낮추기 위한 설계 기술을 확보하고 이를 최소한의 시스템으로 검증하는 절차가 필요하며 추가적으로 이를 운행하면서 나타날 수 있는 문제점을 파악하고 개선하여야 함.
- 실제 규모인 50대/day~100대/day의 시스템은 건설비용이 많이 들고 수소버스의 수급과 운영에도 불확실성이 있어 50대/day의 충전을 하기 위한 최소의 기술적인 필요사항으로 수소버스 2대 동시 충전, 2대 연속충전을 할 수 있는 기능을 구사하는 시스템으로 실증을 하고 버스를 함께 운영하는 방안이 비용을 최소화할 수 있을 것으로 사료됨.
- 해외 현지상황에서 선호되는 수전해 방식의 수소공급설비 또한 1.5톤~3톤/day의 수소를 공급하기 위한 시스템을 적용하는 것은 건설 및 운영 비용에서 어려움이 있을 것으로 예상되며 따라서 이 용량의 수소를 공급하기 위한 단위기술을 확보하고 이를 경제적으로 확대할 수 있는 비용 저감형 엔지니어링을 통해 해외실증에서 활용하는 것이 바람직 함.
- 해외 환경에 맞는 시스템 설계와 함께 국내 하절기 실증을 통한 문제점 확인 및 보완 연구 필요

- 해외 현지의 법제도와 인증을 위해 현지의 인적 및 기관과 연구단 간 네트워크 구성을 연구단 초기부터 진행하여 현지 실증과 운영을 위한 토대 마련 필요.
- 해외의 경쟁기술과의 격차를 줄이기 위해 개발부분에서 위험부담이 있으나 이를 연구단의 형태로 진행하면서 국내 및 해외에서 검증과 함께 track-record를 확보하는 장점도 있음.
- 현 시점에서 위험부담의 최소화 하면서 필요한 기술을 획득하기 위해 3년 가량의 연구개발 및 국내 소형 실증을 거쳐 이를 해외에서 실증하는 2년을 추가하는 연구단의 형태를 고려하여야 함.(연구개발 및 국내실증 3년 + 해외실증 2년)
- (중복성) 50대/day 수소버스전용 충전시스템 설계 및 2대 동시 충전, 2대 연속 충전으로 추진하고 수소공급은 1,500 kg/day용량의 모듈형 시스템 개발과 고온 환경 적응형으로 차별화하며 해외실증의 경우 수소버스와 수소공급시스템, 수소충전시스템을 묶어 실증하고 운영하는 시스템으로 차별성 있음.

○ 국내 연구상황

- 국내의 수소대중교통에 관계된 수소버스 및 수소공급, 버스 운행에 관련된 R&D 프로젝트의 현황은 아래 표와 같음

표 4 해외 수소 기반 대중교통 인프라 기술 개발 과제와 유사과제의 연계성 및 차별성

부처명	사업명(과제명)	총 연구기간	총 연구비	연계성 및 차별성
산업부	풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소변환 및 발전시스템 기술개발	17~20	23.7억 원	·(차별화) 5 Nm <sup>3</sup> /h급의 소형 수전해와 풍력, 밧데리를 연계한 에너지 저장을 소형 모듈 환경에서 진행하는 연구이며 본 연구와 같이 해외의 고온 환경에서 모듈화를 통한 용량 대응성과 대용량 수전해 기술로써 효율 75% 이상을 달성하는 등 차별성이 있으며 특히 수소충전소와 수소버스를 수소공급과 연계하는 기술로 사업의 계획·설계, 건설·시공, 유지·관리 등과 결합 및 수행되어 차별성을 가짐 ·(연계성) 일부 재생전력과 연계성에 대한 내용은 연구성과를 활용 가능
	수소버스 충전시간 1/2단축 및 튜브트레일러 운송용량 2배 이상 증대를 위한 수소충전시스템 기술 개발실증	18~21	23억원	·(차별화) 700 bar 수소버스 충전을 충전프로토콜개발 및 충전시간 단축을 위한 압축시스템 개발과 튜브트레일러 450bar 시스템 설계로 본 기획과 같이 50대 이상의 대형충전시스템의 효과적, 경제적 설계와 개발된 연료공급 프로토콜을 시스템적으로 검증하고 이를 개선하는 종합적인 기술과는 크기와 용량 및 실증규모에서 차별성이 있음.

				(연계성) 개발된 프로토콜을 메가충전시스템에 적용 (차별화) 수소버스 700 bar 충전 실증, 밸브 및 피팅류 국산 제품 적용 검증, 수소버스 30회 충전 실증, 충전 자료 분석, 원격진단 등 (연계성) 700bar 수소버스충전 자료 이용한 시스템 분석
	수소전기버스 충전소 모니터링 사업	16~19	10.4억 원	
	수소융복합스테이션 위험성 평가 및 연구	16~19	18.5억 원	(차별화) 산업부의 연구는 기존의 CNG, LPG, 휘발류/경유 충전소와 함께 수소충전소가 설립되었을 때 영향과 안전성을 확보하기 위한 연구임. 본 기획은 수소버스 전용의 50대/day 충전을 할 수 있는 메가 충전소와 수소공급설비 그리고 수소버스의 운행에 대한 것으로 보다 폭넓은 안전성에 대한 평가와 설비에 대한 안전기준이 필요한 사항임. (연계성) 기존 수소 폭압 및 방호벽 관련 자료 활용
과기부	차세대 알카라인 수전해 기술개발	16~20	55억 원	(차별화) 알카라인 수전해 기술의 핵심요소인 전극, 분리막과 관련된 소재개발 연구가 주 내용으로 소재의 효율 및 열화율에 대한 연구내용임. 최종적으로 2Nm3/hr급의 소형 스택을 개발 테스트 예정으로 본 과제에서 진행하고자 하는 모듈형 대형 수전해 개발과는 차별성을 가짐. (연계성) 개발된 일부 소재개발 연구성과를 활용 가능
국토부	100만 명 규모 도시형 복합 수소 네트워크 설계 및 안전성 평가, 관리기술 개발	17~18	2.6억 원	(차별화) 수소발전 및 차량용 네트워크의 최적 설계를 통해 도시의 수소에너지 활용에서 고려하여야 하는 사항들에 대한 기반설계에 관한 연구로 본 연구와 같이 대중교통을 위한 수소충전소의 설계와 이의 운용, 그리고 이를 해외에 판매하기 위한 현지 실증과 같은 구체적인 연구 개발 및 실증과는 차별됨. (연계성) 교통모델의 수소충전시설의 도시 및 국토적 위치 선정에 활용

□ 대중교통 수소인프라 기술 개발 및 해외 시장 실증 요소 기술 발굴

○ 대중교통 수소메가충전시스템 기술

- 수소충전비용 3,000원/kg을 만족하기 위한 메가 충전소 설계
- 50 대/day 충전을 위한 350 bar 및 700 bar 충전시스템 설계 최적화
  - 충전소 인프라 건설 비용 저감시 350 bar가 유리하나 버스 운행거리 연장에는 700 bar가 유리하기 때문에 해외 고온 환경에서 적용성을 고려하여 평가필요
- 시스템 저가화를 위한 압축기와 저장 용기의 조합 그리고 cascade mode, booster mode, hybrid mode 등 설계
  - 시스템 설계에서 저장 용기를 늘리고 압축기를 줄이거나 반대로 저장 용기를 줄이고 압축기의 용량을 늘리는 방식을 고려함.
  - 시스템을 저가화하기 위한 구성 요소의 최적 설계를 개발

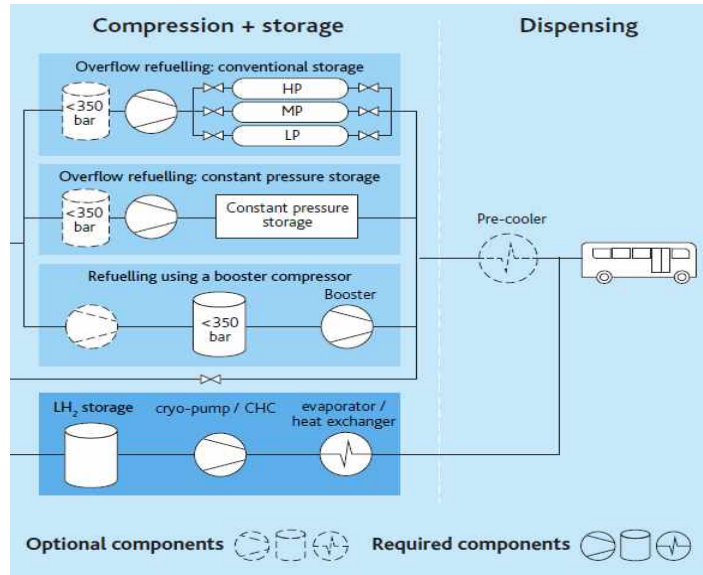


그림 42. 350 bar 수소버스충전시스템의 다양한 구성의 예,  
(New Bus ReFueling for European Hydrogen Bus depots)

- 설계된 시스템에서 버스 동시 충전 및 연속 충전 모사
  - 설계된 시스템에서 버스의 연속 충전과 동시 충전시 압축기와 저장용기의 압력 등의 변화 그리고 에너지 소모 등에 대한 모사를 통해 설계 가능성 검토 필요
- 수소버스 운행과 수소충전소 상황 공유 웹 기반 서비스 개발
- 고온환경 적응을 위한 설계 요소 개발
  - 고온 환경에서 압축기의 intercooling 보완
  - 버스 충전에 따른 pre cooler 냉각 보완, 수소의 대량 저장 용기 적용과 이들 용기에서 압축에 따른 온도 변화와 외부대기 영향에 의한 수소충전 영향에 대한 검토 필요
- 메가수소충전시스템에 대한 안전기준 마련 및 시설 기준에 대한 검토 필요.
- 대용량 교통 모델용 버스 충전 프로토콜 검증 및 개선
  - SAE J2601-2, JPEC-S0003, 신규 10kg이상 700bar 대형차량 충전 연료공급 기준인 SAE J2601-2를 기반으로 한 충전 시스템 적용 및 충전 실증
  - 기존 연료공급규약에 따른 수소충전과 수소버스의 부품의 최대유속 등을 고려한 충전설비의 적용과 실증이 필요
  - 700 bar 충전에 대한 신규 연료공급규약을 적용한 충전설비의 검증 등 필요

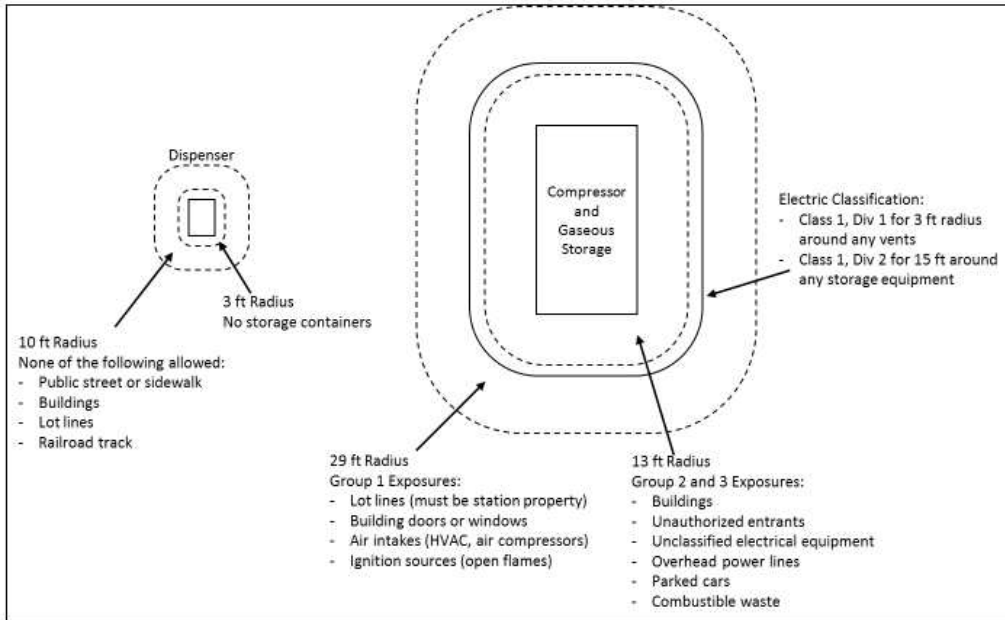


그림 43. 미국 NFPA2에 따른 0.288인치 배관을 사용하는 350bar 수소충전시설에 대한 이격거리

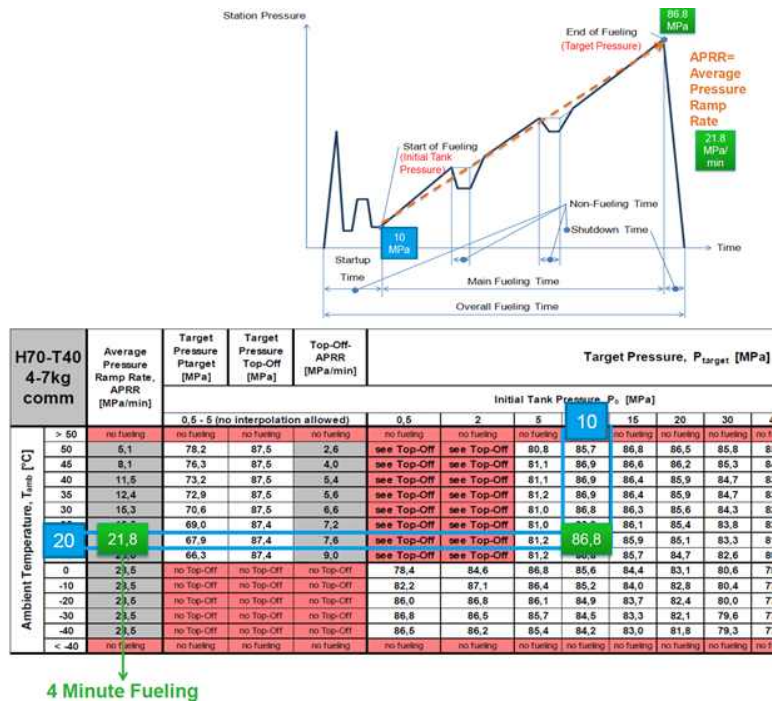


그림 44. 수소전기차 수소충전 연료공급 규약에 따른 Look-up table과 수소충전의 전형적인 압력 변화 (DOE)

- 충전 속도 향상을 위한 최적화: SAE J2601에서 적용되는 MC-Fill과 같은 고속 충전이 대형차량 연료공급규약에도 들어갈 수 있으며 이러한 경우에 대한 시스템 제어 및 충전속도 향상에 대한 실증을 실시할 수 있음.
  - 수소용기 압력/온도 변화 예측 기술 개발: 고온환경 및 고속 충전시 수소용기의 압력 및 온도 변화를 예측함으로써 수소대중교통시스템의 안정성 향상에 도움을 줄 수 있음.
- 메가 충전소 모델 시험 및 실증
- 수소버스의 연속 및 2대 동시 충전을 할 수 있는 최소한의 시스템 구성을 통해 설계된 메가충전소에 대한 시스템 검증을 실시하고 운영을 통해 보완.
  - 대중 교통 수소충전 모델에 실증을 통해 국산 제품을 적용하는 플랫폼을 제공하여 국산제품의 검증 및 보완을 할 수 있음.
  - 메가 수소충전소의 안대중 교통 수소충전 모델에 실증을 통해 국산 제품을 적용하는 플랫폼을
- 고온 환경 적응형 1,500 kg/day 대용량 수전해 모듈 기술 개발
- 모듈화 설계를 통한 수소생산 규모에 대응성 향상 및 시스템 비용 저감
  - 모듈 단위의 설계를 통해 BOP 및 전력 공급시스템의 설계를 단일화
  - 시스템 크기에 따른 설계비용 저감 및 부품 규격화를 통한 비용 절감
  - 모듈단위의 설치 변경을 통해 시스템 확장에 대응 수단 확보 및 단위 모듈의 스택 수 조절을 통한 수소 공급량 조절 가능 시스템 설계 기술 확보



그림 45. 국내 최대용량 AE 장치

- 해외 고온 환경 적응 설계
  - 해외 고온 환경에 대한 내열성 및 내구성 소재를 이용하여 셀프레임 적용
  - 이에 대한 대형 셀의 설계 및 제작에 대한 기술 개발 및 시스템의 냉각이 강화된 대응 설계 기술 확보
- 고효율화 기술 개발
  - 시스템 효율 75% 이상으로 하기 위한 대형 활성 전극 제조 기술과 이를 분리막과 밀착시키기 위한 구조의 설계 기술
  - 단위 스택연구와 대형 전극 제조기술 그리고 이를 적용한 최소 100 Nm<sup>3</sup>/h급 스택에 대한 시제품 제작
  - 비 백금계 전이 금속 이용 대형전극의 제조를 통해 제조 비용 저감 전략 추진
  - 정제에 이용되는 수소의 양 최소화를 위한 연구개발
- 수소공급설비 안전 및 설비 기준 개발
  - 고온 환경에서 수소공급 및 충전 설비에 대한 안전 기준 및 설비 기준
  - 해외 현지의 안전기준이나 인증을 염두에 두고 개발
- 수소교통시스템의 해외 현지 구축 및 운영
  - 국내 실증 data를 기반으로 한 해외 수소 대중교통 시스템 보완 구축
  - 현지 관련 법 및 인허가 검토, 인적 네트워크 및 운영 네트워크 확보
  - 수소공급 및 수소충전시스템 원격 제어 및 운전 솔루션 개발
    - 수소의 생산에서 충전소 운전까지 원격에서 운영할 수 있는 인터페이스 및 통합제어 알고리즘, 모델링, 운영 경제성 분석 등 필요.
  - 통합관제 및 비상 운영 솔루션 개발
    - GPS 기반 수소버스 교통 수집, 웹 기반 수소충전소 충전 가용성에 대한 수소버스운전자에 정보전달, 돌발상황의 자동 감지, 추적, 조치, 설비의 진단 및 운용 정보의 원격지 전송
    - 위험설비 비 인가자 접근 감지, 지능형 영상 감지 등 안전 조치 기술, 관련 정보의 송수신에서 유무선 정보 강화 및 암호화
  - 해외 수소 생산 및 수출 전략 거점을 위한 전략 개발
    - 중동지역의 재생에너지 인프라와 국내 기술 인프라의 융합을 통한 향후 수출전략 기지화를 위한 전략 거점화 추진
    - 중동지역의 해수담수화 플랜트에서 생산된 물과 해수 등을 활용한 수전해 플랜트 결합에 대한 경제성 확보 전략

- 중동지역의 물 인프라와 수소 에너지 인프라 결합을 위한 핵심 전략 기술 확보에 따른 해외 수소 생산 거점화 전략 추진
- 향후 수소 에너지를 활용한 스마트 에너지 시티 기술 수출 전략 수립

□ 국내 관련 기술 현황

○ 국내외 최고 기술보유 업체/(연구)기관 현황

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허	국적	비고
수소충전소시스템 설계 및 시공 기술	NEL	· 수소 충전소 시스템 기술(압축기, 저장용기, 충전기, 시스템 설계 등)	노르웨이	기업
	Linde	· 수소생산, 저장, 충전, 기술 (충전기, 압축기 등)	독일	기업
	Air Liquide	· 수소생산, 저장, 충전, 기술 (충전기, 시스템 등)	프랑스	기업
	EMS, 효성, J&K heater	· 국내 수소충전소 구축	한국	기업
	두산중공업	· 수소저장 용기, 해외 플랜트 시공, 운전	한국	기업
수소버스	현 대 자동차	· 세계 최초 수소전기차 양산 · 3세대 수소버스 생산 · 4세대 수소버스 개발 및 수소 트럭 개발	한국	기업
알칼라인 수전해	NEL, Thyssenkrupp	· NEL: 가장 오래된 알칼라인 수전해 업체이며 최대 용량 수전해 장치 공급 업체 · Thyssenkrupp: 세계 최대 클로로알칼리 시스템 공급업체로 알칼라인 수전해 시장 신규 진출	노르웨이/독일	기업
	EMS	· 국내기술로 상업적으로 판매된 가장 큰 용량(400 Nm <sup>3</sup> /h)의 수전해 장치를 납품한 실적이 있는 업체	한국	기업
	한국에너지기술연구원	· 직경 40cm의 고전류밀도 알칼라인 수전해 전극 기술 보유	한국	연구
수소안전 및 고압가스기술	한국가스안전공사	· 국내 가스안전 관련 인증 기관	한국	기업
	한국가스기술공사	· 고압가스배관 및 고압가스 시설 기술	한국	기업

○ 국내외 전문가 현황

세부기술	전문가	소속기관	기술개발현황	국적	비고
수소충전소구축	송민호	한국가스기술공사 /부장	수소충전소 구축	한국	
수소충전소구축	이철우	범한산업/차장	수소충전소 구축 및 충전기 개발	한국	
수소충전소구축	박종한	J&K heater/이사	수소충전소 구축	한국	
수소충전소구축	이홍	HyNet/부장	수소충전소 구축	한국	
수소버스	이창하	현대차/파트장	수소버스	한국	
수소버스	구영모	수소융합얼라이언스/ 팀장	수소버스	한국	
수전해	문상동	EMS/차장	알칼라인 수전해	한국	
수전해	강경수	한국에너지기술연구 원/책임	수전해	한국	
수전해	이재영	GIST/교수	수전해	한국	
해외네트워크	홍승관	고려대/교수	UAE 네트워크	한국	
수소공급,저장,이용	박진남	경일대학교/교수	수소충전소, 수소에너지	한국	
열역학 공정모델링	강정원	고려대학교/교수	열역학, 공정모델링	한국	
수소표준	최재우	포항공대/교수	수소표준	한국	
수소안전	강승규	한국가스안전공사 /부장	수소안전	한국	
수소시스템	안국영	한국기계연구원/책임	수소시스템	한국	
수소일반	이관영	고려대학교/교수	수소안전	한국	
수소일반	임희천	수소지식그룹/이사	수소일반	한국	
수소생산, 저장	김종원	에너지기술연구원 /책임	수소생산, 저장	한국	
수소충전 및 수소저장, 이용	정현석	범한산업/이사	수소충전 및 수소저장, 이용	한국	
수소저장용기	주지한	두산중공업/차장	수소저장용기	한국	
해외플랜트건설 /운영	안종모	두산중공업/상무	해외 플랜트 건설 /운영	한국	
수소안전	강승규	한국가스안전공사 /책임	수소안전	한국	

○ 국내외 기술개발 수준

세부기술	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술수준		
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고
메가수소충전소 설계 기술	60	5	도입	100	0	경쟁
메가수소충전소 건설 및 구축 기술	80	3	도입	100	0	경쟁
메가수소충전소 수소버스충전 프로토콜 검증 및 개선 기술	50	5	도입	100	0	경쟁
대형 알칼라인 수전해 시스템 기술	50	5	도입	100	0	경쟁
알칼라인 수전해 전극 기술	70	5	도입	100	0	경쟁
해외 플랜트 건설 및 운영기술	80	3	도입	100	0	경쟁

### 3. 연구개발 목표 및 내용

#### 3.1 연구개발의 최종목표 (연구단)

##### 1) 항목별 연구목표

경제적인 메가 수소 충전 시설의 구축, 안전성 확보 및 운영을 통한 한국형 수소 대중 교통 인프라 모델 기술 개발과 해외 실증을 통해 해외 시장 진출 전략수립

#### □ 수소충전가격 저감 : 3천원/kg 이하

##### ○ 수소 충전소 설비 비용 500 ~ 250 만원/kg/day

- 수소 충전가격 3,000원/kg 이하로 충전
- 차량의 운영비 면에서 기존 디젤 버스 대비 경쟁력 확보

##### ○ 50 대/day의 수소버스 충전을 위한 2대 동시 충전 및 5대 연속 충전이 가능한 시스템 설계

- 단, 국내 실증은 소형 시스템에서 2대 연속 충전과 2대 동시 충전이 가능한 설비로 구성

##### ○ 수소 버스충전 프로토콜을 준수 및 충전 속도 향상을 위한 충전 최적화

##### ○ 수소 충전시 에너지는 8kWh/kg 이하로 충전

- 수소버스와 수소충전소간의 정보공유 웹기반 서비스 제공,
- 고온 환경 적응을 위한 냉각시스템 강화 설계 적용

##### ○ 1,500 kg/day 이상의 대형 수소 제조, 충전 시스템의 설비 및 안전 규격 제시

#### □ 수소공급량 1,500 kg/day

##### ○ 400 Nm<sup>3</sup>/h 급 모듈화 설계를 통해 1,500 kg/day의 수소 공급시스템 구축

- 이를 통해 시스템 가격 100 만원/kW 이하 달성

##### ○ 고온환경에서 적용을 위한 고효율 전극 기술 확보를 통해 75 %이상 고효율화 및 대기 온도 50℃의 환경에서 적용할 수 있게 냉각시스템 설계 반영.

#### □ 해외 적응형 수소버스 및 수소충전소 교통 모델 실증

- UAE 등의 현지에 수소 버스와 수소 충전시설, 수소생산시설을 패키지로 인허가를 획득하여 설치하고 운영하여야 함.

□ 해외 수소 생산 및 수출 현지 거점을 위한 기술개발 및 전략 개발

- 중동 지역의 풍부한 재생에너지 활용 수소에너지와 부족한 물 인프라를 연계할 수 있는 전략적 기술 개발
- 장기적으로 수소 생산/수출 거점화를 위한 물 인프라와 수소 생산 플랜트 연계 전략 및 거점 전략 수립

2) 평가지표 및 확인방법

- 수소충전가격 3000원/kg 이하 설계안 제시. 이를 적용한 2대 동시 및 연속 충전 가능 충전소의 국내 실증(설계 원가 분석과 경제성 지표 제시, 실증충전시설에서 버스 충전 검증)
- 75%이상 수소생산 효율 달성, 1500 kg/day 수소공급시스템 설계안 제시, 100 Nm<sup>3</sup>/h 시제품(효율 측정, 설계안 타당성 평가, 시제품 수소생산량 측정)
- 해외 수소버스 및 수소충전시설 실증(해외 실증 운영 결과 확인)
- 중동 국가와의 장기 수소 생산 거점화 협력관련 MoU 한건

3.2 세부과제 내용 (연구단)

1) 세부과제 구성

세부 과제명	세세부 과제명
ICT 활용 수소 교통 운영 실증 및 현지 거점화 전략 개발	현지 맞춤형 water-energy 연계 전략 시스템 및 수출 모델 개발
	현지 수소 교통 체계 운영 및 검증을 위한 모니터링 시스템 개발
	현지 맞춤형 수소 교통 모델 개발
버스 차고지 대응 메가스테이션 구축 및 수소충전 시스템의 현지화	버스 차고지 대응 메가 수소 충전소 표준 모델 개발
	대용량 교통모델용 버스 충전 프로토콜 검증 및 최적화
	메가 충전소 모델 시험 및 실증
메가 수소 스테이션 용 대용량 그린수소 공급 시스템 개발	고온 환경 적응형 대용량 수소공급 모듈 기술 개발
	고효율 대형 알칼라인 전극 기술 개발
	수소공급설비 안전 및 설비 기준 개발

2) 세부과제 내용

세부 과제명	세부과제 정의(Description)
ICT 활용 수소 교통 운영 실증 및 현지 거점화 전략 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외 현지 적응형 수소 버스, 수소충전소, 수소공급시스템을 설계, 건설, 운영하는 시스템 기술 개발</li> <li>- 장기적인 관점으로 물과 에너지 인프라 연계 및 수소 생산/수출 거점화 연구 협력 전략 수립을 위한 과제</li> </ul>
버스차고지 대응 메가스테이션 설계 및 실증기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 50대 이상의 버스 차고지를 기준으로 수소충전시설의 경제적 효율적 모델을 설계하고 이를 국내에서 최소한의 요구사항을 충족하도록 실증</li> <li>- 해외 적용을 위한 개선 사항을 확인하는 시스템 기술 개발</li> </ul>
메가스테이션 대용량 수소 공급 시스템 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해외에서 선호되는 수전해방식의 대용량 수소 공급시스템을 용량 및 고온 환경 대응을 할 수 있도록 설계</li> <li>- 고효율의 경제적인 시스템을 구성할 수 있도록 전극 및 BOP 기술 개발</li> </ul>

## 4. 전략프로그램 경쟁력 분석

### 4.1 SWOT 분석

		강점(S)	약점(W)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>수소버스 및 트럭에 대한 산업경쟁력 우수</li> <li>해외 플랜트 건설 및 운영을 통한 신뢰 구축이 잘 되어 있음.</li> <li>국내 수소충전시설 건설 경험 풍부하며 국내 보급 사업으로 내수시장 존재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수소충전시설의 장비의 국산화율이 낮음.</li> <li>수소 생산 장치의 경쟁력 인 낮음.</li> </ul>
기회 (O)	<ul style="list-style-type: none"> <li>환경친화적인 수송수단에 대한 인식 전환</li> <li>UAE등 중동국가의 에너지 전환 관심</li> <li>수소 전기차 시장의 지속적 성장 예상됨.</li> </ul>	<b>(SO 전략)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>수소버스와 패키지를 통한 수출 상품화.</li> <li>기존 현지 인력 및 산업 네트워크를 활용하여 실증 사업 후 시장 확대,</li> <li>중동 지역에서 시장 확보를 통해 미래 개발도상국 시장 진출 토대 마련</li> <li>연구개발 및 실증으로 지속적인 시스템 기술 보안을 통해 기술력 증대</li> </ul>	<b>(WO 전략)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>수소버스와 수소충전인프라, 수소공급시스템을 패키징하고 대중교통시스템에 대한 전체적인 건설과 운영까지 확장</li> <li>실증 설비를 국산제품의 적용 플랫폼으로 활용하여 국산화율 증대</li> <li>개발 기술의 적용을 통한 인지도 확대와 신뢰성 확보</li> <li>테스트베드를 통한 개발기술의 실증화로 세계시장 진출의 기반 구축</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>전기차와 경쟁</li> <li>현지 법 제도 및 환경 변화의 불확실성</li> <li>일본, 유럽 등의 선진 기술 업체 및 국가와 경쟁 불가피</li> </ul>	<b>(ST 전략)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 기술 및 단위기술 향상 및 최적화를 통해 기술경쟁력 확보</li> <li>현지 기업/연구소/대학과 협력방안 마련을 통해 연계성 강화</li> <li>현지의 인적 및 기업간 네트워크를 활용한 불확실성 제거</li> </ul>	<b>(WT 전략)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>국내 및 현지 실증을 통해 신뢰성 확보</li> <li>해외수준의 기술 확보를 위한 교류 강화</li> <li>연구성과의 적극적인 홍보와 사업화 추진</li> <li>원천기술의 지속적 확보 및 사업화</li> </ul>
위협 (T)			

## 4.2 연구수행을 위한 인프라 및 기반 역량 분석

- Fully Feasible
- Possible
- Possible through Global Outsourcing
- Not Feasible as now

### ○ 판단 근거

- 국내 수소충전소 구축 관련 경험과 노하우를 가진 국내 업체 및 연구인력이 풍부하며, 따라서 연구시 발생될 수 있는 시행착오를 최소화 할 수 있음

표 13. 수소기반 대중교통 인프라 기술 개발 및 해외 실증 역량 분석

기술명	항목	인력보유	지원수준	개별인프라	기술수준
ICT 활용 수소 교통 운영 실증 및 현지 거점화 전략 개발		높음	보통	보통	보통
메가 스테이션 설계 및 실증 기술		아주 높음	높음	보통	보통
메가스테이션 대용량 수소공급 시스템 기술		보통	보통	낮음	보통

## 4.3 경쟁력 분석

- Weak
- Tenable
- Favorable
- Strong
- Dominant

### ○ 판단 근거

- 수소 버스 분야에서 국내 산업 경쟁력 매우 높으며 해외 대비 국내 수소충전소 구축 및 운영 경험이 일정 수준 이상 갖추고 있음
- 기술력을 패키지화하면 충분한 경쟁력이 있을 것으로 사료됨.
- 수소충전소 관련 부품 및 수전해 장치 분야 경쟁력은 미비하나 수소충전소 부

품은 국산화를 하기 위한 개별 연구와 시험을 할 수 있는 수소 전주기센터가 구축 중이므로 단기간 경쟁력 확보 가능

- 수전해 기술은 장기적으로 기업과 연구기관이 관심을 가지고 접근하고 있어 이번 연구를 통해 경쟁력 확보가 촉진 될 것으로 기대됨.
- 중동지역에서 국내 기업의 이미지가 좋으며 해수 담수화 등 해외 사업이 많이 이루어져 수소 교통모델의 협력에도 긍정적임.
- 사업과 관련된 핵심 기술을 확보하고 있는 인적자원이 풍부하고 국가 정책방향 및 세계시장의 성장 등을 종합적으로 고려할 때 본 기술의 개발을 통해서 세계 시장 진출이 가능할 것으로 판단됨.

## 5. 세부추진계획

### 5.1 세부과제별 추진계획

□ [1 세부과제] ICT 활용 수소 교통 운영 실증 및 현지 거점화 전략 개발

○ 현지 맞춤형 water-energy 연계 전략 시스템 및 수출 모델 개발

세부과제명		현지 맞춤형 water-energy 연계 전략 시스템 및 수출 모델 개발						
□ 목표 및 내용								
목표	중동 물 인프라와 수소에너지 인프라 연계 전략 구축 - 물인프라 및 수소 에너지 인프라 연계 핵심 기술 개발 - 현지 거점화 전략 구축							
주요 연구내용	- 중동지역 물 생산 시스템과 수소 생산 시스템 연계 기술 개발 - 농축수 활용 수소 생산 시스템 핵심 기술 개발 - 국내 스마트 에너지 기술의 현지화 전략 추진 - 국내 기술 수출을 위한 인허가 기반 구축 및 장기 전략을 위한 협력(안) 개발 - 현지 거점 센터 추진 및 DB 기반 구축 (공동과제들에서 추진된 연구 데이터 기반)							
□ 추진계획 및 성과								
추진계획	- 중동 국가와의 협력 기반 논의 및 MoU 추진 - 현지 물/에너지 인프라의 분석을 바탕으로 국내 기술력 접목 방안 추진과 핵심 기술의 현지화 - 장기적인 전망에서 상호 협력을 위한 수출 모델을 개발							
기술개발 최종성과물	(1) 핵심 물-인프라 연계 기술 (2) 해수담수화 생산수 및 농축수 활용 수소 생산 시스템 기술 (3) 현지 거점 센터 추진을 위한 MoU							
□ 세부과제 예산								
		(단위 : 백만원)						
구	분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	202	400	500	1,000	900	3,000	
	민 간(추정)	202	400	500	1,000	900	3,000	대기업기준
	합 계	402	800	1,000	2,000	1,800	6,000	
□ 기대효과								
기대효과	- 중동지역내 스마트 에너지 기술에 대한 전략적 수출 기대 - 기술의 현지화에 따른 해외 시장 판로 개척 - 장기적인 수소 거점에 따른 국내 수소 경제 활성화 정책 완성도 증가 - 새로운 에너지 정책 추진에 따른 고급 일자리 창출 가능							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	(1) 산업부, 수소충전소 안전 및 시설 기준 개발 결과 활용 (2) 국토부, 환경부, 해외 담수화 설비 설치 및 운영 관련 인적네트워크 및 산업 네트워크 활용							

○ (1-1 공동) 현지 수소 교통 체계 운영 및 검증을 위한 모니터링 시스템 개발

세부과제명		현지 수소 교통 체계 운영 및 검증을 위한 모니터링 시스템 개발							
□ 목표 및 내용									
목표	해외 적용형 수소버스 및 수소충전소 교통모델의 해외 현지 운영 - 해외 대용량 수소 교통모델 운영, 모니터링 및 관리 기술 검증								
주요 연구내용	- 수소버스 운행과 수소충전소 상황 공유 웹기반 서비스 현지화 - 수소공급, 충전, 버스 운행 정보 DB화 (주관기관과 협력) - 수소공급 및 수소충전시스템 원격 제어 및 운영 솔루션 개발 - 원격 제어/운영 인터페이스 및 통합제어 알고리즘 모델링, 운영 경제성 분석 - GPS 기반 수소버스 교통 수집, 웹 기반 수소 충전소 가용성 정보 운영 - 돌발상황 자동 감지, 추적, 조치, 설비 진단 및 운용 정보 원격지 전송 - 위험 설비 비안가자 접근 감지, 지능형 영상 감지 등 안전 조치 기술 - 운전, 운영, 제어 정보의 송수신 유무선 정보 강화 및 암호화								
□ 추진계획 및 성과									
추진계획	- 해외 현지 교통시스템 최적화 설계를 통한 현지화 DB 구축 - 현지 극한 환경 등에 적합한 기술적 보완 체계 추진 - 국내 검증 TB와 현지를 밀접하게 연계하여 기술 검증 체계를 구축함으로써 현지화의 완성도 증대와 국제적 신뢰 구축 - 안전체계 확립을 위한 다양한 극한 상황에서의 운영 DB화를 통한 안전매뉴얼 구축								
기술개발 최종성과물	(1) 현지 극한 환경에 따른 수소충전소 운영 매뉴얼 (2) 안정적 운영을 통한 운영 기술 확보								
□ 세부과제 예산									
		(단위 : 백만원)							
구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고	
연차별 연구비	정부	200	259	439	819	1,164	2,881		
	민간(추정)	200	259	439	819	1,164	2,881	대기업기준	
	합계	400	518	878	1,638	2,328	5,762		
□ 기대효과									
기대효과	- 수소교통모델의 미래교통모델로서의 실용성과 현지 적합성 인식 확대를 통해 미래 교통인프라 시장 선점 - 수소교통모델의 운영 시장 확보 - 미래 수소 수송체계의 수출 시장 선점								
□ 연계·활용 과제 (기술)									
연계·활용 과제 및 기술	(1) 산업부, 환경부, 국토부, 지자체 수소충전소 운영에 결과 활용 (2) 국토부, 환경부, 해외 담수화 설비 설치 및 운영 관련 인적네트워크 및 산업 네트워크 활용								

○ (1-2 공동) 현지 맞춤형 수소 교통 모델 개발

세부과제명		현지 맞춤형 수소 교통 모델 개발							
□ 목표 및 내용									
목표	해외 적응형 수소버스 및 수소충전소 교통모델의 해외 현지 구축 - 해외 수소 교통모델의 인허가 및 구축 - 모델 개발에 따른 경제성 분석 및 수소 교통 경제성 확보를 위한 단가 제시								
주요 연구내용	(1) 수소교통시스템 현지 구축 - 실증 규모 및 실증 부문에 대한 현지 상대 기관 협의 - 실증 시스템에 대한 설비 인허가, 보험, 유틸리티 등 2, 3 협동기관 기술 실증을 위한 기반 구축 (1 주관기관과 공동 추진) - 국내 실증 결과를 토대로 도시 기반 수소 교통 모델 개발 및 경제성 평가 - 국내 실증 data를 기반으로 해외 도시 기반 수소 교통 모델 개발								
□ 추진계획 및 성과									
추진계획	- 국내외 검증 결과를 바탕으로 해외 수출 전략 모델 개발 - 경제성 및 경쟁력 확보를 위한 수소 교통 모델의 경제성 분석 결과를 토대로 수출 모델 개발 (1 주관 기관의 장기 전망과 협력 체계 구축)								
기술개발 최종성과물	(1) 현지 수소교통모델 시스템 실증을 위한 인허가 구축 매뉴얼 (2) 국내/국외 대도시 기준 수소 교통 모델 (3) 수소 교통 경쟁력 확보를 위한 경제성 분석 보고서 (최종 보고서와 별도)								
□ 세부과제 예산									
		(단위 : 백만원)							
구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고	
연차별 연구비	정 부	100	200	300	300	300	1,200		
	민 간(추정)	100	200	300	300	300	1,200	대기업기준	
	합 계	200	400	600	600	600	2,400		
□ 기대효과									
기대효과	- 수소 교통 시장 선점을 위한 전략적 기반 마련 - 국내 수소 모델에 대한 경제성 평가를 통해 국가적 차원의 수소 경제활성화 정책 완성도 증가								
□ 연계·활용 과제 (기술)									
연계·활용 과제 및 기술	(1) 산업부, 수소충전소 안전 및 시설 기준 개발 결과 활용 (2) 국토부, 환경부, 해외 담수화 설비 설치 및 운영 관련 인적네트워크 및 산업 네트워크 활용								

□ [2 세부과제] 버스 차고지 대응 메가 스테이션 설계 및 실증 기술 개발

세부과제명		메가 충전소 모델 실증 및 충전 프로토콜 검증, 최적화						
□ 목표 및 내용								
목표	50대 이상 규모의 버스 차고지를 기준으로 설계된 메가 수소 충전시설의 최소의 요구 사항을 만족하는 실증형의 충전소의 건설과 운영을 통해 설계안을 검증하고, 이를 해외에서 적용하기 위한 개선점 도출하고 충전 효율성 증대를 위한 실증 기술 개발 - 수소버스 2대 동시 충전, 연속 충전 실증 - 수소버스 충전 프로토콜 검증 및 최적화 - 수소버스와 연계 운행 실증 - 해외 대용량 수소 교통모델용 수소충전시스템 사전 검증							
주요 연구내용	(1) 메가 충전소 실증형 모델 건설 및 실증 - 설계안을 반영한 국내 기술로 가용한 장치 및 유닛을 활용한 시스템 건설 - 다양한 버스의 운행상황 및 충전 조건에 따른 충전시설의 대응성 확인 - 실 충전 자료를 기반으로 에너지 사용 및 효율적 운영 방안 도출 - 버스와의 연계 운영을 통한 실제 수소충전시설의 문제점 파악 및 설계 개선 - 하절기 운영을 통한 해외 교통 버스 모델에서 문제점 파악 및 개선 - 해외 현지 실증 충전소시스템 건설, 설치, 시운전 (2) 대용량 교통모델용 버스충전 프로토콜 검증 및 개선 - SAE J2601, J2601-2, JPEC-S0003 기반 수소 버스 충전 프로토콜 적용 충전 및 실증 - 연속 충전 및 충전 속도 향상을 위한 충전 최적화 및 실증							
□ 추진계획 및 성과								
추진계획	- 수소충전비용 및 효율성에 중점을 둔 메가 수소충전소에 대한 설계를 진행하고 및 설계과정에서 안전 및 설비 기준 마련 - 또한 기존 연료공급규약에 따르는 대형 수소버스 충전시스템의 수소충전 프로토콜의 검증과 개선 추진 - 버스는 현물로 공급하는 방안 고려 - 국내 TB와 해외 TB의 긴밀한 연계 체계 구축							
기술개발 최종성과물	(1) 2대 동시 및 연속 충전이 가능한 실증 시설 (2) 실 버스의 충전을 통한 효율적인 충전 및 개선 사항 도출 (3) 실증 시설을 이용하여 개선점을 확보하고 이를 해외수출형 충전 시스템 반영							
□ 세부과제 예산								
		(단위 : 백만원)						
	구분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정부	700	1,100	2,000	2,000	1,000	6,800	
	민간(추정)	700	1,100	2,000	2,000	1,000	6,800	대기업 기준
	합계	1,400	2,200	4,000	4,000	2,000	13,600	
□ 기대효과								
기대효과	- 수소의 활용성이 높은 대중교통기반의 수소 생산 및 충전시스템 기술 선점으로 국내 기술의 해외 진출 기반 확보 - 경쟁력이 있는 수소버스기술을 앞세워 인프라적 요소가 강한 수소 충전시설을 패키지화하여 해외 진출을 꾀할 수 있음. - 소규모형 수소 교통시스템을 국내 구축 및 검증을 통해 국산화 기반의 교통시스템 구현, 국내 확산, 해외 수출형 사업 모델로 활용							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	(1) 산업부의 수소버스 충전 모니터링 및 안전관련 기준, 수소충전소 부품 국산화 사업의 결과물과 직간접적 연계 가능							

○ (2-1 공동) 버스 차고지 대응 메가 수소 충전소 표준 모델 개발

세부과제명		버스 차고지 대응 메가 수소 충전소 표준 모델 개발						
□ 목표 및 내용								
목표		50대 이상 규모의 버스 차고지를 기준으로 메가 수소 충전시설의 경제적, 효율적인 모델 설계 - 해외 고온 환경에 적용가능한 경제적, 효율적 메가 수소충전소의 최적 설계 - 50 대/day 수소생산, 충전, 운영 시스템 설계 - 수소충전가격: 3천원/kg 이하 - 국산기술 적용을 고려한 시스템 설계 안 제시						
주요 연구내용		(1) 대용량 수소충전소 표준 모델 설계 - 50대 이상의 차고지 혹은 버스 계류지 적용 메가 수소충전시스템 설계 - 효율성 및 비용을 고려한 최적 시스템 구성안 도출(충전비용:3천원/kg이하) - 수소 충전소 구성에 따른 버스 동시 충전 및 연속 충전 대응성 모사 시뮬레이션 개발 및 검증 - 수소버스 운행과 수소충전소 충전기 상황 공유 웹기반 서비스 개발 (2) 해외 실증을 고려한 시스템 설계 - 대기온도 50℃에서 대량 수소버스 충전 상황 고려 설계 사항 도출 - 압축기, 저장설비, pre-cooler 등의 주요 설비 보완 설계 - 수소버스충전 프로토콜에 따른 수소압력, 충전 속도, 대기온도, 용기 type 및 초기압력을 고려한 수소버스 용기의 압력/온도 변화 예측 기술 개발 (3) 국내 실증용 수소충전소 설계 - 수소버스 2대 동시 충전 및 연속 충전이 가능한 실증용 수소충전소 설계 - 국내 수급 가능 제품군 조사 및 설계 반영						
□ 추진계획 및 성과								
추진계획		- 국내 TB를 통한 메가 수소 충전소 검증 체계를 위해 지체와 협력 계획 구축 - 2 협동기관과 긴밀한 관계를 구축하여, 해외 TB 검증을 위한 프로토콜 구현 계획 추진 - 국내 결과를 바탕으로 해외 실증을 위한 검증 매뉴얼 작성						
기술개발 최종성과물		(1) 단위 수소 충전 가격이 가장 경제적인 메가 수소 교통 모델용 수소충전시설 설계 안 도출 (2) 고효율, 저비용 충전을 위한 대중교통 충전모델 개발 (3) 국산제품 적용을 위한 해외수출형 충전 시스템 플랫폼 제공						
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정부	600	600	400	400	200	2,200	
	민간(추정)	600	600	400	400	200	2,200	대기업 기준
	합계	1,200	1,200	800	800	400	4,400	
□ 기대효과								
기대효과		- 국내 핵심 수소 교통 인프라의 해외 수출을 통한 시장 선점 효과 기대 - 현지화 기술을 통한 국제적 신뢰 관계 구축 - 수소 활성화 경제 구축을 위한 표준적 모델 제시 기대						
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술		(1) 산업부의 수소버스 충전 모니터링 및 안전관련 기준, 수소충전소 부품 국산화 사업의 결과물과 직간접적 연계 가능						

○ (2-2 공동) 수소 공급 설비 안전 및 기준 개발

세부과제명		수소공급설비 안전 및 설비 기준 개발						
□ 목표 및 내용								
목표	메가 수소 충전시설 안전 운영을 위해 압축, 저장, 충전, 생산 시설에 관련된 설비 및 안전 기준과 버스의 운행과 설비의 배치 등 사고 상황 및 예방 기준 개발 - 메가수소충전시설 위험 요인 분석 - 대형 충전시설 및 수소생산 시설의 안전성 평가 기법 제안 - 수소누출 위험성 평가와 모니터링 항목 도출 - 해외 수소관련 인허가 및 안전성 평가 조사							
주요 연구내용	(1) 메가 충전소 시설 안전 기준 마련 - 메가 충전소 수소생산시설의 안전 기준 및 설비 기준 마련 - 메가 충전소 저장, 압축, 충전 시스템의 안전 기준 및 설비 기준 마련 - 대용량 수소생산, 충전시설의 위험 요인 평가 및 모니터링 - 메가충전소 설계 기준 설비 방호벽 및 화재/폭발 영향 평가 - 해외 고온 환경에 적합한 수소충전소 설비 설치 기준 마련 (2) 메가 충전소 실증 설비 안전 기준 적용 및 모니터링 - 실증형 수소교통모델에 적용할 안전기준 및 설비 기준 적용 및 모니터링 - 실증 시설의 수소폭압 및 방호벽 충격 시뮬레이션 및 시험 - 해외 실증을 위한 해외 실증형 수소충전시설 설계의 안전성 평가							
□ 추진계획 및 성과								
추진계획	- 메가 수소충전시설에서 수소의 생산, 저장/압축/충전/운행에 대한 전체적인 위험성 평가, 발생빈도 예측, 안전거리, 방호벽의 설계 등에 대한 설비 기준의 마련 - 국내의 대중교통시스템에 안전성 확보 및 해외에서 적용기준 마련. - 주관기관, 충전시설 실증 기관 등과 협력 체계 구축을 통해 하여 해외 대상 지역안전 관련 기준에 대한 상호협력 - 성과를 통한 국제표준화 추진							
기술개발 최종성과물	(1) 대용량 수소생산, 압축, 저장, 충전, 수소버스 운행의 안전 및 시설 기준 마련 (2) 국내 및 해외 실증 시설의 안전기준, 설비 기준 적용 (3) 해외 인허가를 위한 안전기준 검토							
□ 세부과제 예산								
		(단위 : 백만원)						
	구분	1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정부	200	200	600	600	300	1,900	
	민간(추정)	200	200	600	600	300	1,900	대기업 기준
	합계	400	400	1,200	1,200	600	3,800	
□ 기대효과								
기대효과	- 수소 경제 활성화를 위한 최대 쟁점으로서 안전성에 대한 기준 마련 - 해외 수출시 안전성에 대한 신뢰도 확보에 따른 수출 가속화 - 안전 기준에 대한 국제 표준화를 추진함으로써 국가적 기술 신뢰도 및 브랜드 증가							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	(1) 산업부의 수소버스 충전 모니터링 및 안전관련 기준, 수소충전소 부품 국산화 사업의 결과물과 직간접적 연계 가능							

□ [3 세부과제] 메가스테이션 대용량 수소 공급 시스템 기술

세부과제명		고온환경 적응형 대용량 수소공급 모듈 기술 개발						
□ 목표 및 내용								
목표	모듈화를 통한 수소공급 용량 대응성 확장, 해외환경 적응형 모델 개발과 이의 검증 및 수소버스 교통시스템과 팩키지화를 통한 경쟁력 강화 - 1500 kg/day 고온 환경 적응형 모듈화 수소공급 시스템 설계 기술 개발 - 단위스택당 100 Nm <sup>3</sup> /h 시제품 개발 - 스택 효율 개선 기술 개발 (현재 65%이하 --> 75%이상)							
주요 연구내용	1) 고온 환경 적응형 1500 kg/day급 대용량 수전해 모듈 기술 개발 - 냉각시스템 및 Power supply 등 고온 환경성 검토 및 대응 기술 개발 - 400 Nm <sup>3</sup> /h 수용 모듈 단위 BOP 설계를 통한 시스템 저가화 기술 개발 - 대형스택용 셀프레임 및 셀구조 설계, 제작 기술 개발 - 고온 내구성 및 부식성을 확보한 셀프레임 소재 적용 기술 - 정제수소 저감을 위한 기술 개발 - 1500kg/day 규모 수소충전소 수소공급 시스템 설비 안전 기준 적용 설계 - 안전을 위한 부식 저감 소재 및 기술 개발 2) 400 Nm <sup>3</sup> /h급 BOP 및 100 Nm <sup>3</sup> /h급 스택 시제품 개발 - 모듈 설계가 반영된 BOP와 스택 시제품 개발 - 고온 환경 적응형 시스템 및 소재 기술 적용 - 전극 형성 기술 대형화 적용 - 효율 75%이상 시스템 개발 - 수소생산 시스템의 원격 관리 및 모니터링 기술 개발 - 해외 현지 실증용 시스템 제작 및 현지 설치, 시운전							
□ 추진계획 및 성과								
추진계획	- 대용량 수소공급 시스템의 구성을 위해 전극 기술, 스택형성기술, BOP 및 정제 기술의 기술 개발을 위한 산·학·연 협력 체계 구축 - 대용량 수소공급시스템에 대한 안전 및 설비 기준체계 마련 - 단위 모듈 단위 단순화, 규격화 대형화를 통한 최적화 전략 추진 - 고온 환경에서 필요한 냉각시스템 보완과 내열 설계를 하고 제시된 안전 기준을 적용과 시스템 구성 시제품 이후 검증 전략 추진 - 1 주관기관과 물 에너지 인프라 구축을 위한 전략 추진 체계 공유 - 향후 해외 시장 적용을 통해 실증 및 해외 track-record 확보							
기술개발 최종성과물	(1) 모듈 기반 1,500 kg/day이상의 수소공급 시스템 설계 (2) 400 Nm <sup>3</sup> /h이상급 수전해 모듈과 100 Nm <sup>3</sup> /h급 단위스택 시제품							
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	1,000	1,500	1,500	1,000	1,000	6,000	
	민 간(추정)	1,000	1,500	1,500	1,000	1,000	6,000	대기업 기준
	합 계	2,000	3,000	3,000	2,000	2,000	12,000	
□ 기대효과								
기대효과	(1) 해외에서 선호되는 수소공급시스템의 수소교통시스템과 함께 실증을 통한 시장 확대 (2) 국내 수소생산기술의 경쟁력확보와 기술확보를 통한 국내 시장 보호 (3) 해외에서 수소생산을 통한 국내 수소 공급에 적용 토대 마련 (4) 그린 수소의 생산 기술의 해외 track-record 확보							
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술	(1) 산업부, 상용모체기반 알칼라인 수전해 전극 기술 개발 사업 시스템 기술 간접 활용							

○ (3-1 공동) 탄성 소재를 활용한 막 밀착 구조 고효율 전극 기술 개발

세부과제명		탄성 소재를 활용한 막밀착 구조를 갖는 고효율 전극 기술 개발						
□ 목표 및 내용								
목표		1,500 kg/day 용량의 모듈화 수소공급시스템에 적용 가능한 전극 형성 기술 및 탄성 소재를 활용한 막밀착 구조를 갖는 셀 기술 개발 - 상용급 대형 전극으로 확대 가능한 전극 제조 기술 개발 - 단위스택에서 스택 효율 80%이상 - 탄성소재를 이용한 막 밀착 구조형 셀 설계						
주요 연구내용		1) 고효율 대형 전극 형성 기술 개발 - 비귀금속계 고효율 전극 조성 최적화 연구 - 대형 전극 형성을 위한 전기도금 기술 및 도금액 조성 유지 기술 개발 - 용사에 의한 전극 형성 연구 - 전극 비활성화 메커니즘 규명 및 대응 기술 개발 - 밀착 구조를 감안한 전극 소재 적용 연구 (2) 막밀착 구조 기술 개발 - 막밀착을 위한 탄성 소재 선정 및 전극 접합 설계 기술 - 직경 40cm 이상급 전극을 활용한 5셀 이상의 단위 스택 검증(1 Nm <sup>3</sup> /h이상, 스택 효율 80%이상 )						
□ 추진계획 및 성과								
추진계획		- 고효율 대형 전극 형성기술과 막 밀착형 셀구조의 적용이 반드시 필요 - 스택 비용 저감 전략 추진을 위한 비 귀금속계의 전극 조성 최적화와 대형 도금 기술을 진행과 도금액 유지 및 분석에 대한 기술 개발 - 용사기술의 적용 가능성 분석을 통한 이러한 전극을 밀착형 구조로 형성을 40cm이상급의 단위 스택에서 검증 - 이후 1,500 kg/day의 모듈 스택에 적용						
기술개발 최종성과물		(1) 비귀금속계 대형 전극 형성 기술 (2) 직경 40cm급 단위스택 검증 및 1500 kg/day용 전극 형성 기술 제공						
□ 세부과제 예산								
(단위 : 백만원)								
구 분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	소계	비고
연차별 연구비	정 부	500	1,000	1,000	1,000	500	4,000	
	민 간(추정)	500	1,000	1,000	1,000	500	4,000	대기업 기준
	합 계	1,000	2,000	2,000	2,000	1,000	8,000	
□ 기대효과								
기대효과		(1) 국내 및 해외 대형 수전해 전극 기술 경쟁력 확보 (2) 전극기술의 시스템 통합을 통한 검증 (3) 장기적으로 국내 수전해 시장 보호 및 해외 수전해 시장 진출 기여						
□ 연계·활용 과제 (기술)								
연계·활용 과제 및 기술		(1) 산업부, 상용모제기반 알칼라인 수전해 전극 기술 개발 사업 결과물 개선 활용						

○ 세부과제간 연계성 및 요약

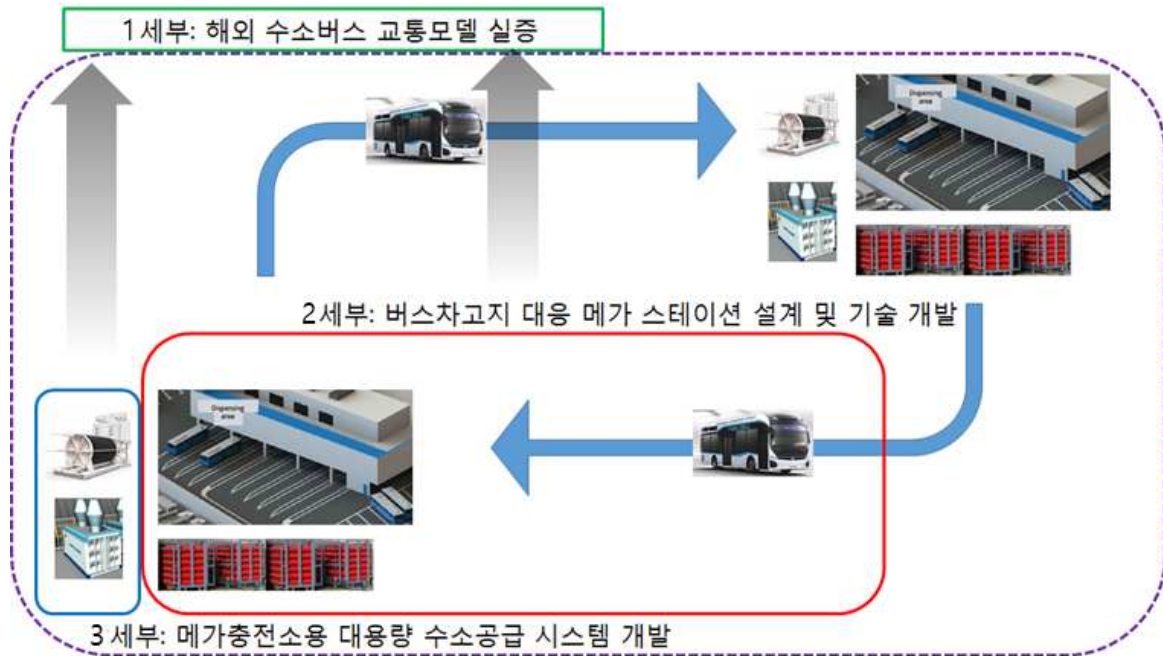


그림 46. 세부 과제간 연계성

- 총 3개의 세부단위로 구성되며, 모든 기술은 해외 상황에 맞는 수소교통시스템을 실증하기 위한 요소기술 및 시스템을 검증하는 것을 원칙으로 함.
- 1 주관기관은 과제 초기 단계에서부터 대상 해외 국가 및 기관에 접촉하여 교통시설에 대한 인허가 및 법 체계에 대한 분석을 하여 해외에 수소 충전시설과 수소버스의 운행에 필요한 절차와 방법을 확인
  - 2세부의 해외 실증설비를 건설을 위한 제반 사항 (인/허가 등)을 정리하고, 2 협동기관이 실증설비 건설에 대한 필요 사항을 협의
  - 국외 기관과의 수소 교통 검증 절차를 총괄
- 2 협동기관은 대형 버스 수소 충전시설의 최적 설계를 기반으로 국내에서 이를 검증할 수 있는 검증형 충전시설을 건설하고 이를 실제 버스의 운영을 통해 검증하는 절차를 진행
  - 해외에서 버스를 운영하고 충전소를 운영/관리할 수 있는 참여 기관을 확보 (1 주관 기관과 협업)
  - 수소버스를 생산하는 현대자동차와 협업을 통해 충전압력 및 용량, 충전시간에 대한 조율과 해외 검증형 수소 버스 개조까지 협업관계 구축
- 1 주관기관의 해외 검증 절차에 따라 해외 실증시설의 건설과 운영을 통한 검

## 증을 실시

- 3 세부과제는 해외에서 실증을 하기 위한 수소 공급시스템을 1단계에서 단위 스택 시제품으로 개발하여 운전
  - 이를 기반으로 해외모델에서 설계된 수소공급시스템에 필요한 제품을 설치/운영
- 연구단장은 2세부 및 3세부의 연구 결과를 토대로 해외 적용 모델의 국외 기관과 검증 절차를 마련하고 2단계에서 2와 3 협동의 연구비용을 조정
- 각 세부과제는 시스템 비용 저감, 에너지 저감 그리고 국산화율 상승에 초점을 맞추어 진행
- 연구단장은 2 세부과제의 설계 결과를 기반으로 국내에서 시범 적용할 모델 충전 시설의 용량과 수소 공급방식을 설정하고 이를 1과 3 협동기관과 공유하여 해외 실증설비 인허가 및 설치, 운영을 위한 사전 작업 추진과 실증 규모를 설정

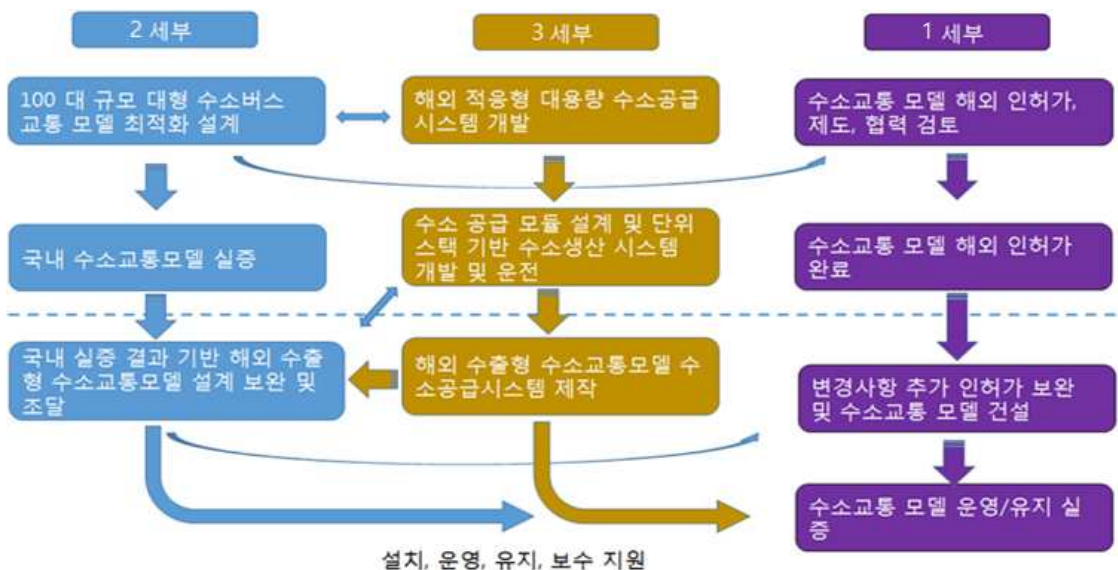
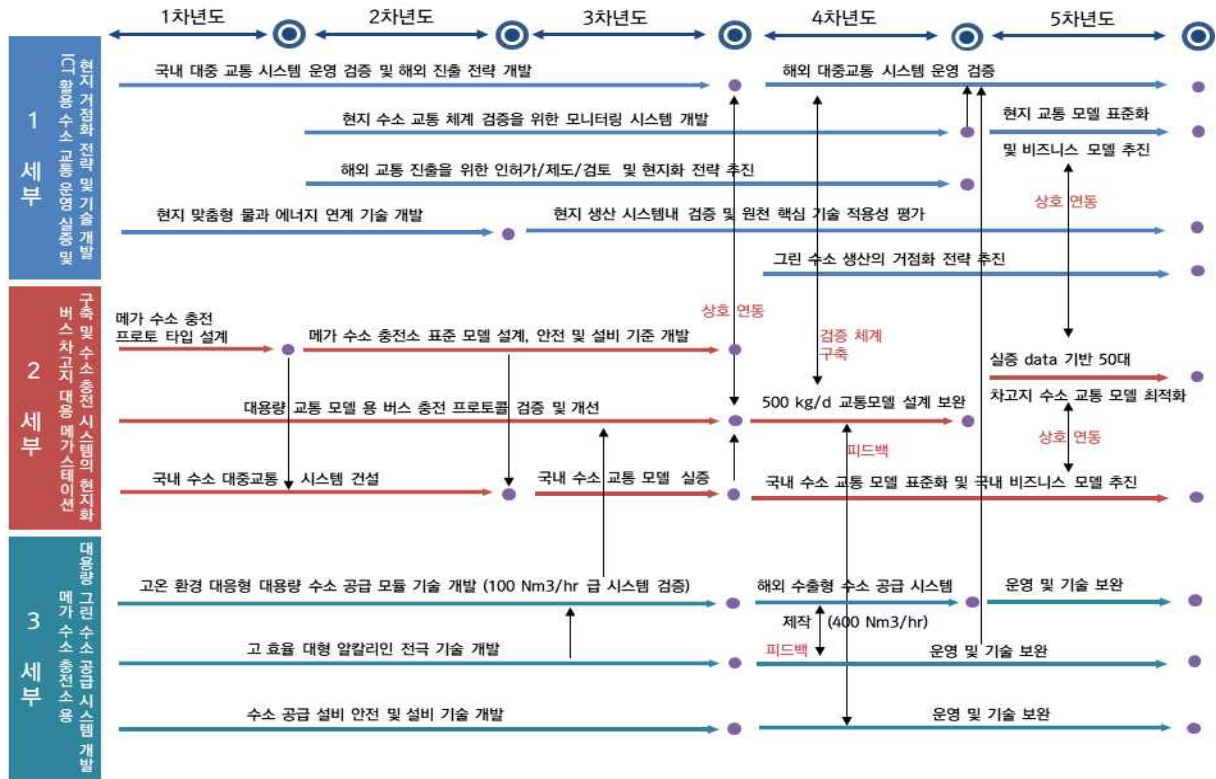


그림 47. 세부과제별 연계 내용 및 성과 공유

### ○ 각 세부과제의 해외 교통 모델 적용

- 연구단장은 세부과제의 결과물의 해외 교통모델 적용에 대한 적정성 여부를 위해 외부 평가 위원등을 활용하여 성능 검증을 실시한 후 적용여부를 최종 결정하는 방식을 도입
- 연구단장은 2 세부과제와의 긴밀한 협조를 통해 각 세부과제의 결과물 적용여부를 결정하여 2단계 예산 분배 방식을 결정
- 현 기획에서는 우선적으로 2, 3 협동과제에 예산을 제공한 상태이나, 최종적으로 연구단장이 1단계 종료시점에서 예산 방식을 최종 결정 후 재분배

## 5.2 TRM 전개



- 1, 2, 3 차년도 : 설계 최적화와 단위기술 개발 및 국내 모델 실증
- 4, 5차년도 : 해외 실증 모델 건설 및 운영 실증
- 세부과제의 결과물은 3차년도 이후로 건설되는 해외 실증 모델을 위해 필요한 부분을 공유
- 각 세부과제 기술 개발물에 대한 부분은 각각의 기술 검증 방법을 제시

### 5.3 국내 실증 모델 및 해외 모델 건설 예산 분석

○ 국내 교통 실증 모델 건설 (시설용량 : 800 kg/day, 약 30대 충전 용량)

- 시설비 : 5,000,000천원

품 명	규격	수량	공사비(천원)	비 고
건축비	식	1	1,000,000	- 250kg/day 충전소 약 5억
수소충전소설비	식	1	4,000,000	- 5백만원/(kg/day) 기준
합계			5,000,000	

• 토지는 지자체 제공

- 유지관리비(3차년도 1년간, 버스 및 버스운행 별도): 1,020,000천원

구분	금액 (천원)	비 고
인건비	100,000	인당 5,000만원×2명=100,000천원/2년
전력비	50,400	사용전력비 : 8kWh/kg×70원/kWh×300kg/d×300일/년 = 50,400천원
수소	720,000	수소 : 8000원/kg x 300 kg/day x 300일/년 = 720,000,000원
보수비	50,000	5천만원/년 x 1년 = 5천만원
예비비	100,000	5억원 x 0.02= 100,000천원
합계	1,020,400	1년(3차년도)

• 버스는 별도 제공

○ 국외 건설 (시설용량 : 800 kg/day, 약 30대 충전 용량)

- 시설비 : 8,200,000천원

품 명	규격	수량	공사비(천원)	비 고
건축비	식	1	1,200,000	- 250kg/day 충전소 약 5억 - 해외 인허가 및 기타 비용 2억
수소공급설비	식	1	2,000,000	- 100~400 Nm <sup>3</sup> /h급
수소충전소설비	식	1	5,000,000	- 5백만원/(kg/day) 기준 - 해외 조달 및 기타 비용 10억
합계			8,200,000	

- 유지관리비(5차년도까지 1년간): 550,000천원

구분	금액 (천원)	비 고
인건비	200,000	인당 10,000만원×2명×1년간=200,000천원
전력비		현지 협조 요청
수소		현지 생산, 현지 전력 협조 요청
보수비	100,000	10천만원/년 x 1년 = 1억원
예비비	250,000	5억원 x 0.05 × 1년= 250,000천원
합계	550,000	1년(5차년도)

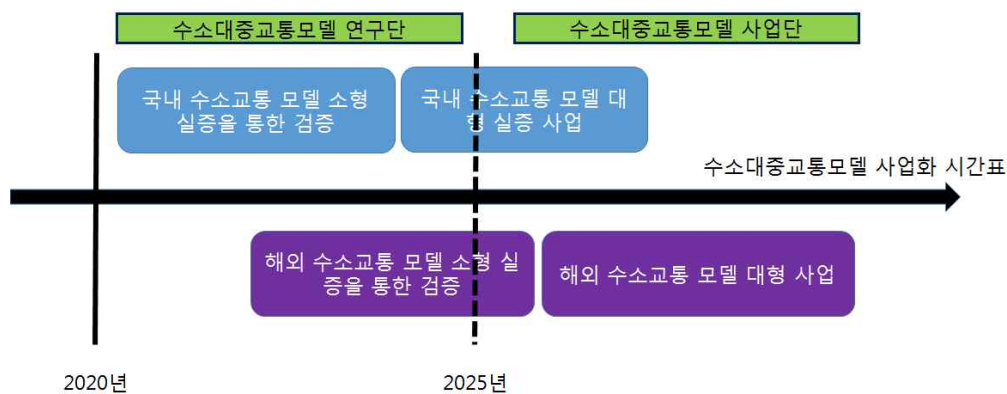
## 5.4 연구단 이후의 추진계획

### ○ 최종 기술개발의 형태

- 연구개발 형태를 기준으로 고려하면 사업단 형태가 바람직하나, **현재의 기술 개발 수준과 시장 성숙도 및 기술개발에 대한 위험부담을 고려할 경우 연구단 형태로 추진**
- 연구개발 기간 시장변화와 기술개발 수준을 고려하여 최종적으로 검증된 기술들의 시장진입을 위한 실증화 사업을 고려함

### ○ 실증화 사업 추진계획

- 연구단의 실증형 교통모델을 통해 기술검증 완료시, 대내외적 기술검증 효과와 시장진입의 용이성 등을 위한 사업단의 형식으로 실증화 사업을 추진
- 연구단 종료시점에 사업단 추진을 위한 기획을 시작
  - 연구단장은 연구단 책임자와 외부 전문가를 통한 연구단 종료 시점까지 사업성 평가 보고서를 도출
  - 국토교통과학기술진흥원은 연구단의 사업성 평가 보고서를 토대로 사업단 실증화 사업의 타당성을 검토한 후 기획시작



## 6. 정부지원 필요성

- 정부의 3대 혁신성장 전략투자인 수소경제의 조기 구현 모델로 도시 내 교통분야에 수소 시범도시\* 인프라 기술개발 및 실증을 위한 신규 지원 필요(수소경제 로드맵 주요내용\*\*)

\* 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 :

< '22년까지 3개 시범도시 구축(55~56쪽) >

- (목적) 수소 활용 기술·제품·시스템을 실제 적용한 수소 도시 조성
- (구축 전략) 신도시·혁신도시, 수소 활용 선도지역 등을 대상으로 수소 시범도시를 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

< 해외 수소생산 거점 구축을 위한 전략적 협력 강화(57쪽) >

- 저렴한 갈탄을 활용(호주 등)하거나, 태양광·풍력 등 재생에너지(동남아, 중동, 중남미 등)를 활용하여 현지에서 수소생산 후 국내 운반

- 정부의 수소 경제 이행 로드맵에 의하면 2022년까지 수소 버스 2,000대, 2040년까지 국내 4만대를 보급 계획이 있으나 이에 비해 버스 차고지 전용 충전소는 특별한 계획이 없음
- 수소전기버스의 충전은 자동차 대비 5배의 충전 시간이 필요하여 일반 수소 충전소가 아닌 버스전용수소충전 인프라를 개발하여 충전시간 감소 및 수소충전비용 감소가 필요
- 수소 생산 방식에 있어 궁극적으로는 재생에너지를 연계한 대규모 수전해 방식이 필요하나 국내 기업의 기술경쟁력은 미흡(선진국 대비 60~70%)하여 상용화 수준의 기술 개발이 필요

## 7. 기대효과

- 온실가스 저감, 대기오염물질 저감, 공기 정화 (출처: 투데이에너지, 2019.01.03)
  - 수소버스 56톤/대 온실가스 저감 효과, EU 자료에서는 12년 수명 동안 800톤 CO2저감
  - 대기오염물질 880kg/대 저감
  - 공기정화량 60명분/대
- 2050년 수소버스 및 트럭의 수소전기차내 5% 비중을 차지하지만 수송분야에서 수소전기차가 줄이는 이산화탄소 감축분의 30%이상(매킨지, '17)
- 수소버스를 이용하면서 오염물질 저감과 소음 감소로 쾌적한 도시환경 확보

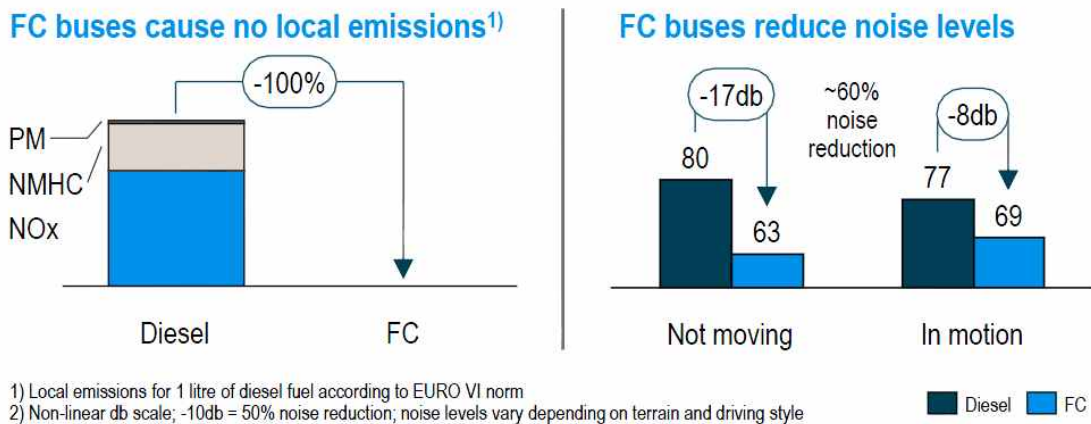


그림 48. 수소 버스와 디젤 버스의 오염물질 및 소음 비교

- 수소버스는 협력부품업체가 대부분 중소·중견 기업으로 산업적인 파급효과가 크며 메가충전소도 밸브, 용기, 냉동기, 배관, 건설 등 관련 산업의 투자와 시장 및 고용 확대 유발이 큼.(차량별 부품수: 내연기관 3만개, 수소2.4만개, 전기차 1.9만개)
- 2040년 수소버스 6만대(내수 4만대)로 8억/대로 환산시 48조원 시장이며 이들 버스를 충전하는 메가충전소(100대/충전소, 충전용량 3톤/day, 충전소 건설비 2,000€/kg-H<sub>2</sub>, 출처: Newbusfuel project, FCH-JU)의 건설비용은 77억이며 충전소 600개(내수 400개, 해외 200개)를 공급시 시장은 4.6조원에 해당됨. 그리고 해외 수출형으로 200개의 메가충전소에 필요한 수소공급을 수전해장치로 구성하는 경우(1400 Nm<sup>3</sup>/h급 수전해시스템-7MW급, 효율: 5kWh/Nm<sup>3</sup>, 가격 60만원/kW) 충전소당 42억이며 8400억의 시장에 해당함.

현대차그룹 및 협력사, 수소전기차 관련 누적 신규 투자 및 고용 목표

구분	2020년	2022년	2025년	2030년
생산	1만1000대	4만대	13만대	50만대
투자	3000억원	1조5000억원	2조9000억원	7조6000억원
고용	1천300명	3000명	1만명	5만1000명

\*자료:현대차그룹, 생산은 해당 연도 연간 목표 기준

그림 49. 현대차 그룹의 수소 전기차 관련 누적 신규 투자 및 고용 목표

- 2050년 수소산업 2.5조달러 시장과 3000만개 일자리 제공(매킨지, '17)
- 장기적으로 해외 플랜트 사업으로 해외의 저가의 재생전력(UAE 태양과 20원 /kWh)을 활용한 수소제조와 국내수입 사업을 할 수 있으며 이를 통해 해외 플랜트시장 개척과 다각화, 국내 에너지 안정화에 기여할 수 있음(수소경제활성화 로드맵, 2040년 수소 예상 수요 526만톤/년에서 부생수소+수전해+해외생산 70%).
- 글로벌 수소차 시장에서 현 한국의 점유율을 동일하게 하여 계산할 경우 OEM 및 공급업체를 포함한 수출로 한국 자동차 산업은 수소차 부문에서만 25조원/년 이상

주 의

1. 이 보고서는 00000부에서 시행한 00000 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 00000부에서 시행한 00000 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.