

Issue Report

2019. 01.

서산시 수소에너지 활용 및 수소산업 육성 방안

홍 원 표 충남연구원 미래전략연구단 책임연구원 wonpio@cni.re.kr

송 두 범 충남연구원 미래전략연구단 수석연구위원 dbsong@cni.re.kr

강 수 현 충남연구원 미래전략연구단 연구원 sh3737@cni.re.kr

이 연구는 수소 관련 산업 현황과 특징 그리고 국내외 관련사례 분석을 바탕으로 서산시의 수소에너지 활용 및 수소산업 육성방안을 제시하는데 목적이 있음

CONTENTS

1. 과제의 배경과 목적
2. 수소에너지와 연료전지의 특징
3. 수소 관련 산업의 구성과 특징
4. 국내외 지역 수소관련산업 육성 사례
5. 서산시 수소 관련 산업 SWOT분석
6. 서산시 수소관련 산업 육성 방안

요약

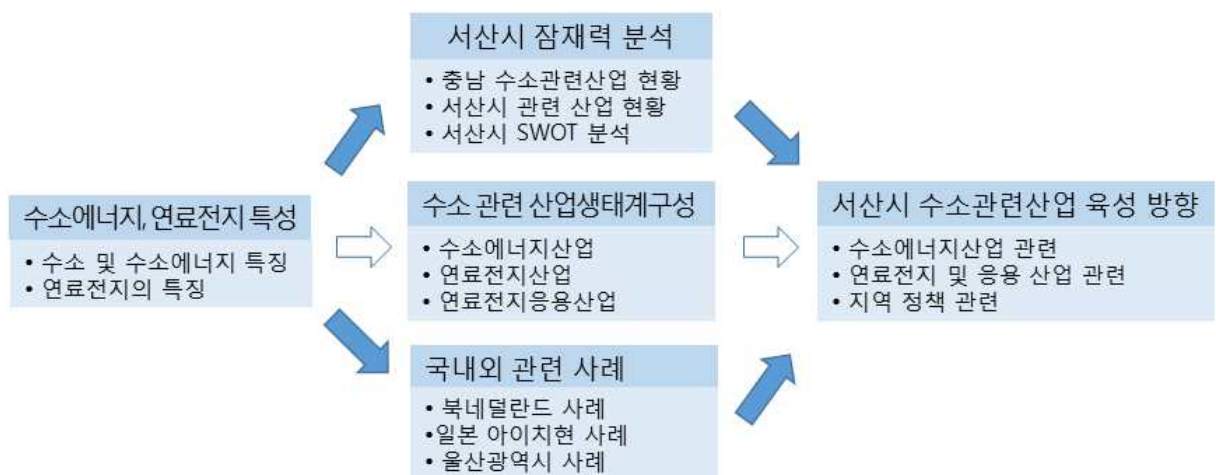
- 수소 관련 산업은 수소에너지산업, 연료전지산업, 연료전지 응용산업으로 구성되며, 수소에너지산업과 연료전지산업은 궁극적으로 연료전지응용산업의 발전에 의존함
- 북네덜란드 그린수소경제 로드맵, 일본 아이치현 수소사회 로드맵, 울산광역시 수소산업 로드맵은 서산시가 참고할 가치가 있음
- 서산시 수소 관련 산업의 SWOT 분석 결과, 서산시와 인근지역은 부생수소 생산, 화력발전소 밀집지역의 연료전지발전 수요 등 기반을 가지고 있으나, 기타 부문의 연료전지산업, 수송용 연료전지 응용산업 등은 기반이 취약함
- SWOT 분석 결과와 현재 수소 관련 산업은 도입기에 있음을 고려하여 서산시는 장점을 부각하고 약점을 보완하는 역량강화전략을 채택할 필요가 있음
- 서산시 수소 관련 산업 육성을 위해 다음 4가지 방안을 제시함. 첫째, 서산시 석유화학단지의 부생수소생산, 대산항만을 활용하여 국내 3대수소에너지 공급허브 지위 정립, 둘째, 태양에너지, 해상풍력, 바이오매스를 활용한 재생에너지와 수소에너지의 순환체계 구축, 셋째, 연료전지 지게차, 수소 드론 등을 발판으로 연료전지 응용산업으로의 진출 기반 마련, 넷째, 내포 권역 차원의 중장기 수소경제 로드맵 수립

01

과제의 배경과 목적

- 최근 수소에너지와 연료전지는 온실가스 및 미세먼지 감축을 위한 유력한 수단으로 각광받고 있으며, 정부 차원에서는 미래 성장산업으로 적극 육성하고자 하고 있음
 - 수소는 산소와 전기화학 반응을 하여 전기에너지와 열에너지 그리고 물을 배출하기 때문에 수소를 연료로 사용하는 경우 오염물질 배출에 따른 문제들을 해결할 것으로 기대되며, 고순도 산소를 공급하기 위한 필터는 공기정화효과가 있는 것으로 알려짐
 - 정부는 2018년부터 연료전기차를 적극적으로 육성하기 시작하여 대대적인 재정지원을 단행하고 있으며, 지역 차원에서는 수소버스, 수소택시 등 보급에 경쟁적으로 참여하고 있음
- 충남은 미래먹거리산업으로 수소에너지와 연료전지산업을 전략적으로 육성하고 있으며, 그 시너지를 극대화하기 위해서는 연료전지가 적용되는 연료전지산업의 전방효과를 의식적으로 육성할 필요가 있음
 - 충남도는 신성장동력산업 육성의 일환으로 수소에너지 육성을 설정하고 2017년부터 국책과제인 『수소연료전지자동차 부품실용화 · 산업기반 육성 사업』(2017-2021)을 시행하고 있음
 - 최근 국가균형발전위원회는 충남 내포 일원에 수소에너지를 중심으로 하는 국가혁신클러스터 지정을 계획하는 등 충남이 수소에너지와 연료전지산업에서 전국적으로 유리한 여건들을 조성하고 있음
 - 연료전지는 구동장치와 결합하여 사실상 모든 내연기관을 대체할 수 있으므로 연료전지는 발전용 뿐 아니라 수송용 동력장치로서 성장 잠재력이 매우 크며, 이는 연료전지산업의 핵심적인 발전 방향임

- 서산시는 환경부의 ‘수소버스 시범도시’로 선정됨에 따라 2020년까지 수소버스 5대를 운행할 계획으로, ‘수소경제’를 서산시 미래발전과 연계하는 것이 과제로 대두되고 있음
 - 서산시는 울산시, 서울시에 뒤이어 2019년 수소버스 시범사업도시 중 하나로 선정되어 2020년까지 수소버스 5대 운영을 계획하고 있음
 - 서산시는 대산석유화학단지의 부생수소 생산으로 인해 수소경제 실현에 유리한 지위를 차지하고 있으며, 이 잠재력을 십분 활용할 필요가 있음
- 본 과제는 서산시의 수소에너지 및 응용산업 활성화 방안 제시를 목표로 함
 - 본 과제의 목표는 국내외 관련 사례, 서산시의 수소 관련 산업 잠재력 분석 등을 바탕으로 서산시 수소에너지 및 응용산업 활성화 방안을 제시하는 것임
 - 이를 위해 수소에너지 및 연료전지의 특성, 수소 관련 산업 생태계의 구성과 특징, 서산시의 수소 관련 산업 잠재력 분석, 국내외 수소 관련 사업 사례 분석을 수행함
- 연구 수행 절차는 수소에너지 및 연료전지의 특성, 수소 관련 산업의 구성과 특성, 서산시의 잠재력 분석, 국내외 지역 수소경제 육성 사례 등을 종합하여 서산시의 수소에너지 및 수소 응용산업의 활성화 방안을 제안함



[그림 1-1] 연구 수행 흐름도

1. 수소에너지의 특성

- 수소(Hydrogen)는 1개의 양성자(proton)와 1개의 전자(electron)로 구성된 가장 간단한 원소로서, 우주에서 가장 흔한 원소임
 - 자연상태에서 수소는 순수수소(H_2)로 존재하지 않고 산소나 탄소 등 다른 원소들과 결합한 구조로서 존재하며, 대부분 물(H_2O)이나 메탄계(CH_4)에 묶여 있음
 - 순수수소를 얻기 위해서는 에너지를 투입하여 분리 추출해야 함
- 순수수소(H_2)를 얻는 방법은 개질, 수전해, 부생 등이 있음
 - 개질(reforming)은 천연가스 등 자연 상태로 존재하는 메탄계열혼합물에 열 또는 압력을 가하여 수소(H_2)를 분리하여 추출하는 방법으로 이를 위해서 열에너지 등이 투입되어야 함
 - 수전해(water electrolysis)는 물을 전기분해하여 수소와 산소를 분리하는 방법으로 이를 위해서는 전기에너지가 투입되어야 함
 - 부생(by-product)은 석유화학이나 철강의 공정에서 부차적으로 생성되는 것을 가리키며, 현재 국내 생산 수소는 대부분 이 방법을 통해 생산되고 있음
- 수소에너지(Hydrogen Energy)란 수소의 형태로 에너지를 저장하고 사용할 수 있도록 하는 성격을 의미하는 것임
 - 순수수소(H_2)는 그 자체로 에너지를 담고 있는데, 순수수소를 얻기 위해 투입하는 에너지의 일부가 응축되는 것으로 에너지 저장체(carrier)의 성격을 띠게 됨
 - 수소는 공기 중의 산소와 결합(연소반응)하면서 28,680cal/g의 열에너지를 방출하며, 또한 전기화학반응을 통해서도 전기에너지를 생성하게 됨

※ 수소폭탄의 원리는 핵분열 반응으로서 연소반응이나 전기화학반응과는 확연히 다른 반응임

- 수소에너지(Hydrogen Energy)는 에너지 저장체 또는 2차에너지 속성을 갖고 있음
 - 수소(H_2)는 생성과정에서 열에너지, 전기에너지 등이 투입되며 투입에너지 중 일부는 수소에 응축되어 저장되며, 역으로 연소나 전기화학반응을 통해 열에너지나 전기에너지를 생성함
 - 따라서 수소는 열에너지, 전기에너지와 일정한 과정을 거쳐 호환되며, 이는 2차에너지로서의 특징을 갖고 있다고 볼 수 있음
 - 특히 전기에너지와 상호 전환되는 특성으로 인해 수소에너지는 전기에너지와 함께 핵심적인 2차에너지로 인식되며, 수소경제의 공학적 핵심인 “전기에너지와 수소에너지의 호환관계”를 형성하게 됨

2. 수소에너지의 장단점

- 수소의 생성 과정은 열에너지나 전기에너지 등 타 에너지의 투입을 필요로 하므로, 그 생산과정 자체가 “친환경적”이라고 말할 수 없음
 - 개질, 수전해, 부생 등 방법은 예외 없이 에너지의 투입을 통해 수소를 생성하는 것으로 투입되는 에너지가 화석연료이든, 재생에너지이든 혹은 원자력이든 필연적 관계는 없음
 - 따라서 수소의 생성 과정이 필연적으로 친환경적이지 않으며, 수소의 생성에 투입되는 에너지가 재생에너지와 결합될 때 비로소 청정 수소(clean hydrogen) 또는 녹색 수소(green hydrogen)로 부를 수 있음
- ※ 화석연료 투입을 통해 생산되는 수소를 ‘더러운 수소(dirty hydrogen)’라고 부르고 있음
- 수소의 소비 과정은 물, 열에너지 또는 전기에너지를 배출하므로 화석연료와 달리 배기가스 배출로 인한 환경오염이 없다는 특징을 갖고 있음
 - 연소반응은 수소와 산소가 결합하여 물과 열에너지를 배출하며, 전기화학반응은 수소와 산소가 결합하여 물, 열에너지 그리고 전기에너지를 생산함
 - 따라서 수소의 소비 과정은 CO_2 와 같은 온실가스를 배출하지 않는다는 의미에서 매우 친환경적 에너지로 평가됨
 - 생성되는 물은 인체에 무해한 것으로 재사용 가능하며, 열에너지는 재순환될 수 있음

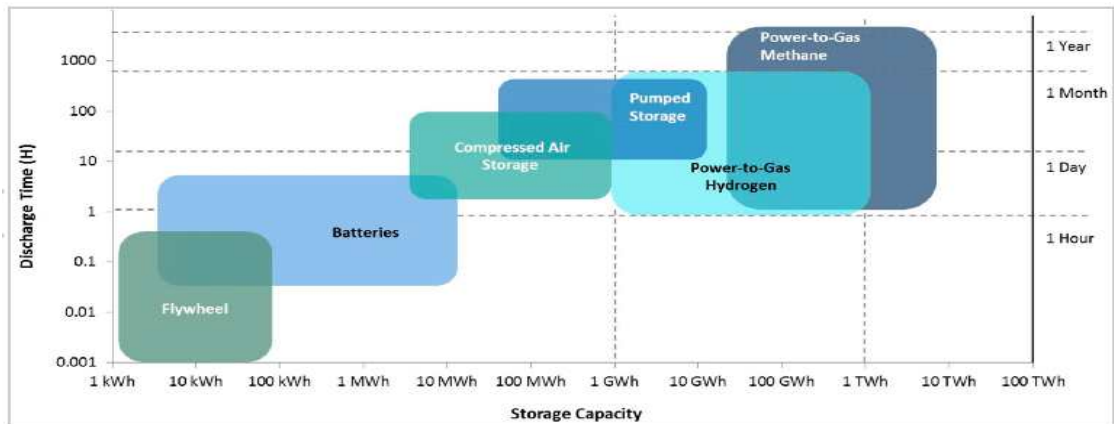
- 수소의 저장, 운반 과정은 전기에너지에 비교하여 장점과 단점을 동시에 갖고 있음
 - 장점으로서는 무게 당 에너지밀도가 높고, 대량, 장시간 저장에 유리하다는 특성을 갖고 있으며, 수송 과정에서 손해율이 극히 적어서 장거리 운송에 유리함
 - ※ 배터리로 저장하는 전기에너지는 최대 180Wh/kg 또는 155cal/g으로 이는 수소의 1/185에 해당함
 - 단점으로는, 수소는 상온, 상압(끓는점 -253°C)에서 기체로 존재하기 때문에 체적 당 에너지 밀도가 매우 낮아 저장 및 운반이 용이하지 않고, 폭발범위가 크고 착화가 용이하고 수소의 화염은 무색으로 식별이 어려운 반면 확산 및 화염속도가 빨라 안정성에서 부담으로 줄 수 있음

[수소가스 저장법]

수소 가스의 저장법으로는 금속 산화물에 흡착시키는 방법이 유망함. 마그네슘을 비롯하여 금속 중에는 수소를 잘 흡수하는 금속산화물이 들어 있는데, 이를 수소저장합금이라고 함. 이 합금은 일정량의 열을 가해서 압력을 감소시키면 흡수한 수소를 다시 방출하는 성질이 있기 때문에 수소를 잘 흡수하는 금속분말에 흡착시켜 수송하거나 저장하기란 그리 어렵지 않음. 이 방법을 쓰면 가스를 저장하는 경우보다 1/3~1/5정도로 부피를 줄일 수 있고, 폭발될 염려도 없음

한편 액화를 통한 액체수소의 저장 및 운반도 실용화되고 있음. 이를 통해 수소의 부피를 획기적으로 줄이고 발화 등 안전성 문제도 해결할 수 있으나 관련 기술이 아직 보편화되어 있지 않은 상황임

- 에너지저장매체로서 수소는 이차전지보다 저장 용량 및 방전시간에서 우월한 것으로 알려져 있음
 - 수소는 저장용량이 1GWh~1TWh로 이차전지의 1KWh~10MWh보다 훨씬 큰 저장능력을 가지고 있음
 - 수소는 방전시간이 1시간~1개월 정도로, 이차전지의 0.1~10시간보다 훨씬 오랜 기간을 저장할 수 있음
 - 따라서 대용량으로 장시간 에너지를 저장하는 매체로서 수소는 이차전지보다 기술적으로 우월하다고 할 수 있음

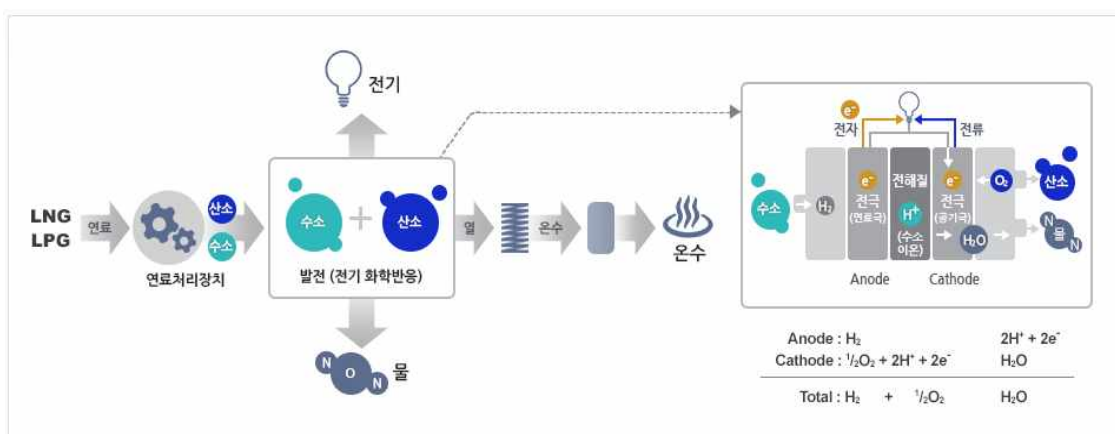


[그림 2-1] 이용 가능한 저장기술 비교

출처: school of engineering, RMIT University(2015), 위키미디어커먼스에서 재인용(<https://commons.wikimedia.org>)

3. 수소연료전지의 원리와 구성

- 수소연료전지는 수소와 산소의 전기화학반응을 일으켜 전기에너지를 생산하는 발전장치임
 - 연료전지는 수소와 공기 중의 산소의 전기화학반응으로 전기와 열을 생산하는 발전장치임.
 - 연료극에 유입된 수소는 백금촉매에 의해 산화되어 수소 양이온과 전자로 분해되고, 연료극에서 발생한 수소 양이온은 전해질막을 통해 공기극으로 이동함.
 - 전자는 외부회로를 통해 공기극으로 이동하여 전기를 생성하며, 공기극으로 이동한 수소양이온과 전자는 산소와 결합하여 물 생성

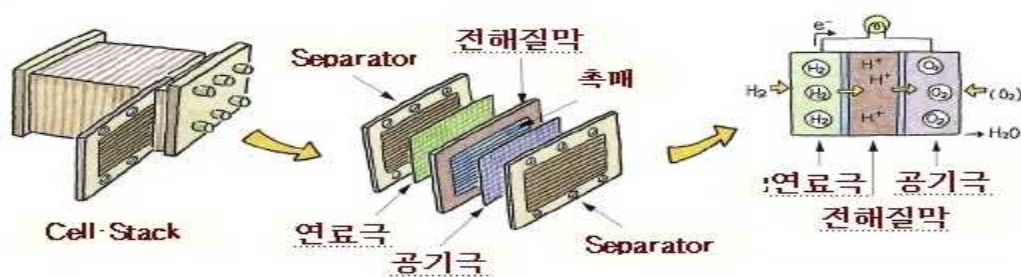


[그림 2-2] 수소연료전지의 작동 원리

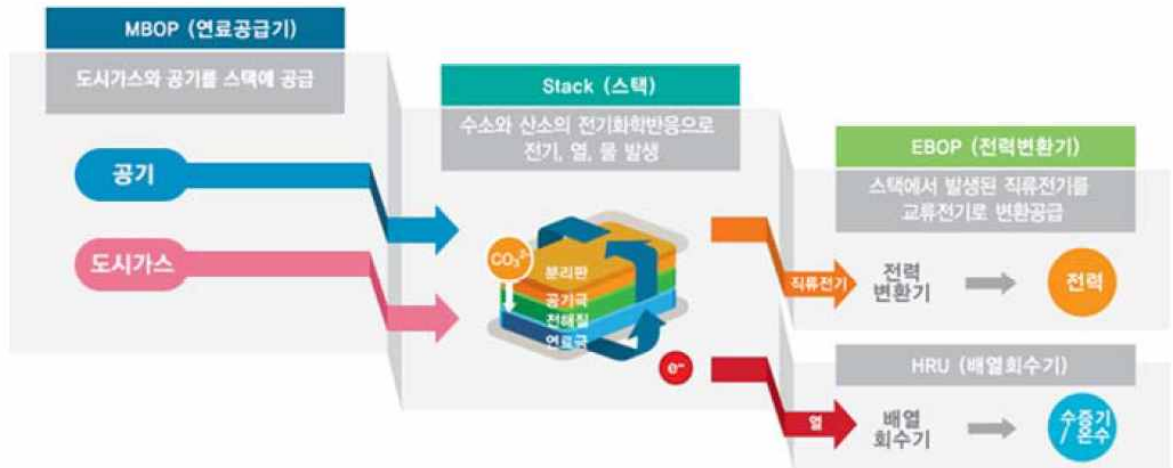
출처: 두산퓨얼셀 홈페이지

- 수소연료전지는 전기에너지를 생성하는 과정에서 열과 물을 부산물로 배출함
 - 수소연료전지는 전기에너지를 생성하는 발전장치인 동시에 부산물로서 열과 물을 배출함
 - 배출되는 열을 그대로 폐기하지 않고 재활용하여 전체적인 에너지 효율을 높이는 방안이 활발히 연구되고 있으며, 이는 수소연료전지의 전체 에너지효율을 올리는데 중요한 요소임. 한편 발생되는 물을 효율적으로 처리하는 기술도 현재 개발 중임
 - 결과적으로 물을 배출하기 때문에 대기오염 문제가 전혀 없으며, 이러한 특성으로 인해 친환경 발전 및 동력장치로서 각광을 받고 있음

- 수소연료전지시스템은 소재부품 → 셀(cell) → 스택(stack) → 시스템을 구성
 - 수소연료전지는 연료극, 공기극, 전해질막, 촉매, 분리판 등으로 구성된 셀(cell)을 기본단위로 하며, 셀들이 집적된 것이 스택(stack)임. 수소연료전지시스템은 스택을 비롯하여 MBOP, Stack, EBOP로 구성됨
 - 스택은 연료전지 발전에서 가솔린 발전의 엔진과 같은 핵심 파트로서, 다수의 단위 전지(Cell or MEA)을 직렬로 적층하여 구성되며 발생하는 전류는 셀의 면적에 비례하고 전압은 셀의 적층 수에 비례
- ※ MEA는 Membrane Electrode Assembly로서 전해질막과 양극 및 음극으로 구성됨
- MBOP(Mechanical Balance of Plant)는 연료 공급기로서 수소와 공기 중의 산소를 Stack에 공급하는 역할을 하며, 필터, 탈황기, 가습기, Pre-Converter, 내부개질기 등으로 구성
 - EBOP(Electrical BOP)는 전력변환기로서 Stack에서 발생된 직류전기를 교류전기로 변환해서 수요처에 전기를 공급하는 역할



[그림 2-3] 수소연료전지 스택의 구성

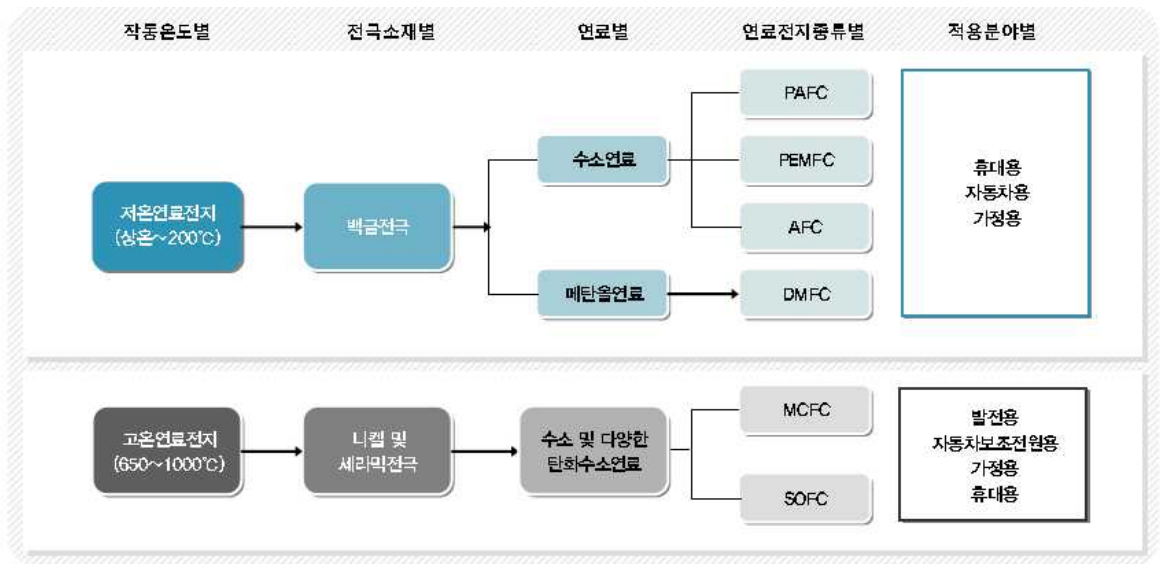


[그림 2-4] 연료전지시스템 구성

출처: 지목현(2014)

4. 연료전지의 종류

- 연료전지의 종류는 작동온도와 전해질 종류로 구분함
 - 연료전지가 작동하기 위해서 필요한 온도에 따라 상온연료전지(상온~200℃)와 고온연료전지(650~1000℃)로 구분함
 - 한편 연료전지는 전해질의 종류에 따라 다양한 구분이 있음. 대표적으로 고분자전해질연료전지, 용융탄산염연료전지, 고체형연료전지 등이 있음
 - 한편, 개발단계에 따른 세대구분에 따르면, 1세대 연료전지는 고분자 전해질을 사용하는 PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell), 2세대는 반고체 전해질을 사용하는 MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell), 3세대는 고체 전해질을 사용하는 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell)로 구분
- 작동온도에 따라 저온연료전지와 고온연료전지는 그 활용분야가 정해져 있는데, 이는 작동을 위한 예열 시간 및 예열에 투입되는 장치구비 필요에 따른 것임
 - 대표적인 저온연료전지인 고분자전해질 연료전지는 80℃에서 작동하며, 비교적 상온에서 작동하기 때문에 예열이 간단하고 짧기 때문에 주로 휴대용, 자동차용, 가정용 등에 사용됨
 - 대표적인 고온연료전지인 용융탄산염 연료전지는 650℃에서 작동하며, 발전용 등으로 사용됨



(그림 2-5) 작동 온도에 따른 연료전지의 분류 방식

출처: 지목현(2014)

- 연료전지에 쓰이는 전해질 종류에 따라서 알칼리, 인산염, 용융탄산염, 고체산화물, 고분자전해질, 직접메탄올 등으로 구분함
 - 이중 용융탄산염 연료전지(MCFC)는 동작온도가 높아 고온에서 전해질 휘발에 따른 수명 단축 문제를 해결할 필요가 있음
 - 고체산화물 연료전지(SOFC)는 고온 동작에 따른 초기 시동시간 단축 및 on-off에 따른 열사이클 충격에 대한 세라믹 소재의 파손 문제를 개선해야 함
 - 고분자전해질 연료전지(PEMFC)는 기술적으로 안정적이나 백금촉매를 사용하기 때문에 발전용과 같은 대형시스템 구성시 비용 상승 부담이 큼

구분	알칼리 (AFC)	인산염 (PAFC)	용융탄산염형 (MCFC)	고체산화물형 (SOFC)	고분자전해질형 (PEMFC)	직접메탄올 (DMFC)
전해질	알카리	인산염	탄산염	세라믹	이온교환막	이온교환막
동작 온도(°C)	120 이하	250 이하	700 이하	1,200 이하	100 이하	100 이하
효율 (%)	85	70	80	85	75	40
용도	우주발사체 전원	중형건물 (200kW)	중·대형건물 (100kW~MW)	소·중·대용량발전 (1kW~MW)	가정·상업용 (1~10kW)	소형이동 (1kW 이하)
특징	-	CO 내구성 큼 열병합 대응 가능	발전효율 높음 내부개질 가능 열병합 대응 가능	발전효율 높음 내부개질 가능 복합발전 가능	저온작동 고출력밀도	저온작동 고출력밀도

(그림 2-6) 전해질 종류에 따른 연료전지 분류

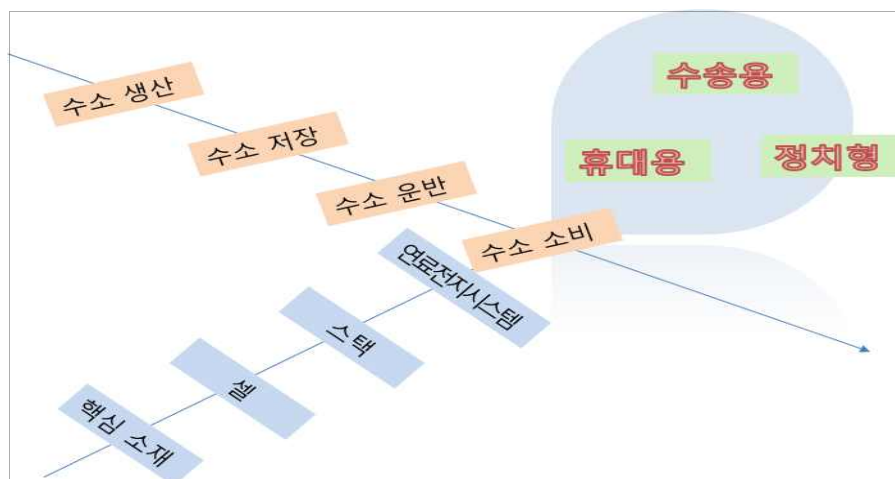
출처: 지목현(2014)

03

수소 관련 산업의 구성과 특징

1. 수소 관련 산업의 전반적 구성

- 산업 관점에서 볼 때 수소 관련 산업은 크게 수소에너지산업, 연료전지산업, 연료전지응용산업으로 구분됨
 - [수소에너지산업]은 수소의 생산, 저장, 운반, 소비 과정에 관련된 산업임
 - [연료전지산업]은 연료전지 제조를 위한 소재, 셀, 스택, 시스템 등의 제조에 관한 것임
 - [연료전지응용산업]은 연료전지시스템이 발전장치나 구동장치로 사용되는 산업군을 의미



〔그림 3-1〕 수소에너지산업과 연료전지산업 및 그 응용산업 도해

- 수소에너지산업은 수소의 생산, 저장, 운반, 소비 과정에 관련된 산업임
 - [수소의 생산] 개질, 수전해, 부생 등 수소 생성 관련 업종임
 - [수소의 저장] 생산된 수소를 저장 운반하는데 관련한 업종으로 저장은 저장용기, 압축, 액화

기술 등을 핵심으로 함

- [수소의 운반] 운반은 트레일러튜브나 파이프라인 등이 주된 업종임
- [수소의 소비] 수소가 소비되는 방식에 관한 것으로 충전소, 충전장치 등과 관련된 업종임

● 연료전지산업은 연료전지시스템을 제조하는 업종임

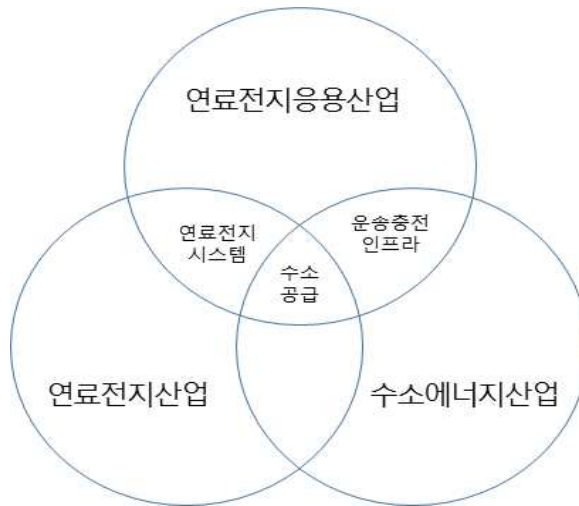
- (소재·부품) → 셀 → 스택 → 시스템에 이르는 제조과정에 관련된 산업군을 가리키는 것임
- 소요되는 소재, 구성품, BMS(Battery Management System) 등을 핵심으로 함

● 연료전지응용산업은 바로 연료전지시스템이 부품으로 들어가는 산업들을 가리키는 것으로 크게 휴대용 분야, 수송용 분야, 발전용 또는 정지형(stationery) 분야로 구분됨

- 휴대용은 주로 휴대폰, 노트북 등 전자기기의 전력을 공급(충전)하는 용도를 의미하며, 이차 전지와 경쟁관계를 형성하고 있음. 휴대용 분야 중 수소연료전지가 주로 쓰이는 곳은 군사용에서 가장 두드러짐
- 수송용은 차량, 열차, 선박, 항공기, 우주선 등 움직이는 모든 것의 동력장치로 사용되는 것을 말함. 용량이 작은 소형차의 경우 연료전지는 이차전지와 경쟁구도를 이루고 있으며, 출력이 커질수록 연료전지가 유리한 상황임
- 발전용 또는 정지형은 주로 위치가 고정되어 있는 응용분야를 말하며, 대표적인 것은 발전, 비상발전, 보일러 등임. 이 분야에서는 이차전지 이외에도 전통 발전 방식인 디젤, 가스 등과 경쟁구도를 형성하고 있음

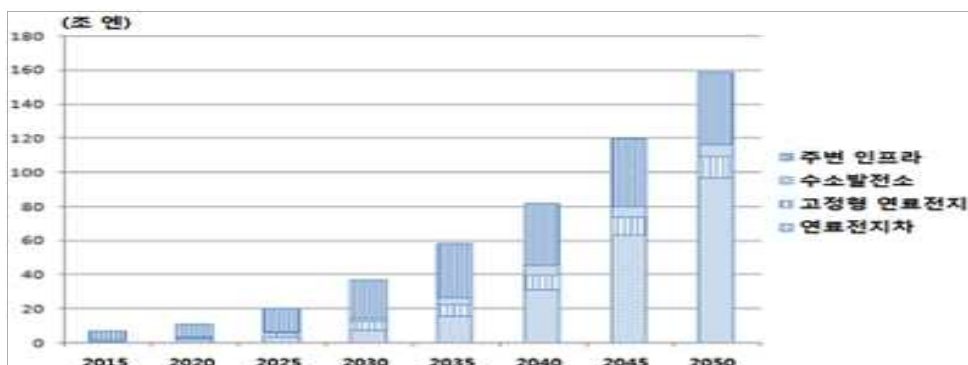
● 전반적으로 수소 관련 산업은 연료전지응용산업을 정점으로 수소 연료 자체의 공급, 운송·충전 인프라, 연료전지시스템 공급 등을 매개로 수소에너지산업과 연료전지산업과 상호연관을 맺고 있음

- 연료전지응용산업의 시각에서 보면, 수소에너지나 연료전지시스템은 공통 투입물임. 수소에너지는 연료로서 항상적으로 사용되는 원재료이고 연료전지시스템은 해당 산업 전체 시스템의 일부로서 일종의 부분 모듈에 속함
- 한편, 수소에너지산업이나 연료전지산업은 연료전지응용산업과 구분되는 별도의 영역을 갖고 있으므로 연료전지응용산업이 모두를 포괄하는 것은 아님



[그림 3-2] 수소 관련 산업 간 관계

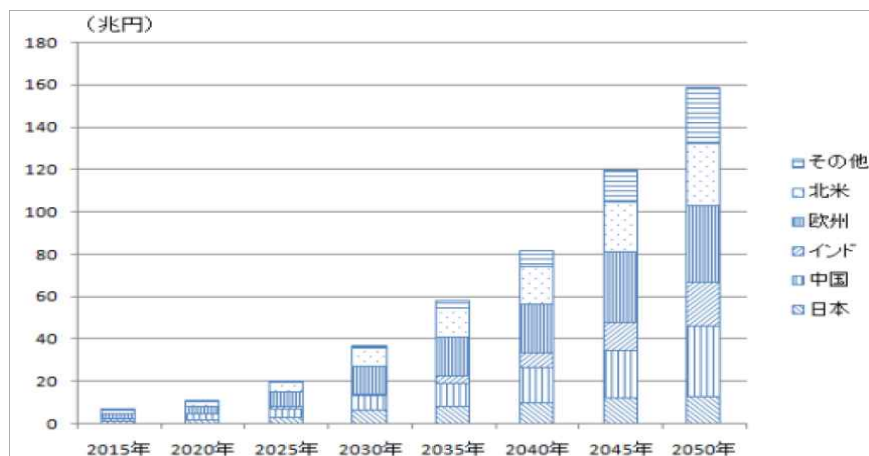
- 수소관련산업은 2020년 100조 원에서 2050년까지 1,600조 원(=160조엔 환산)으로 성장할 것으로 전망
 - 닛케이BP클린테크연구소 예측에 의하면, 수소 관련 산업은 2030년까지 꾸준히 성장하다가 2030-2050년 기간 급속한 성장을 보일 것으로 예측
 - 2015~2020년 기간에는 액화수소기지, 파이프라인 등 수소 생산, 저장 및 운송 등 수소에너지산업 위주로 발전하다가 이후에는 수소응용산업 특히 수송용 분야의 급속한 발전이 수송관련산업 전반의 성장을 이끌 것으로 예측
 - 상대적으로 발전용이나 건물용 응용시장 규모는 수송용에 비해 작을 것으로 예측



[그림 3-3] 수소관련산업 성장 전망(2015-2050)

자료: 닛케이BP클린테크연구소(2013)

- 국제 지역별 시장은 유럽이 주도하는 가운데 중국의 급속한 성장세가 예측되고 있음
 - 유럽은 2050년까지 이산화탄소 배출량을 2000년 대비 80% 삭감하는 것을 목표로 하는 등 도시 수준에서 조치들이 가시화될 것이며, 재생에너지를 수소로 저장하는 수소 스토리지 프로젝트를 선도하고 있음
 - 그 다음으로 북미시장이 큰 규모를 형성할 것이나 성장속도로 보면 중국의 성장속도가 가장 클 것으로 예상



〔그림 3-4〕 지역별 수소관련산업시장 규모 변화(2015-2050)

자료: 닛케이BP클린테크연구소(2013)

- 궁극적으로 수소 관련 산업 전체가 활성화되기 위해서는 연료전지응용산업이 활성화되어야 함
 - 수소에너지산업은 연료전지시스템에 연료인 수소를 공급하는 것으로, 일종의 원재료에 해당
 - 연료전지산업은 연료전지시스템 특히 스택을 제조하는 것으로 응용산업 입장에서는 전체 시스템의 일부 하위시스템 또는 모듈을 공급하는 산업임
 - 연료전지응용산업은 자동차산업, 선박산업, 항공기산업, 발전 산업 등을 포괄하며 수소연료와 연료전지시스템의 수요측임
 - 연료전지응용산업은 일반적으로 연료전지산업보다 산업 규모가 크며, 자체의 산업조직관계와 작동 논리를 갖고 있음

2. 연료전지응용산업의 현황과 특징

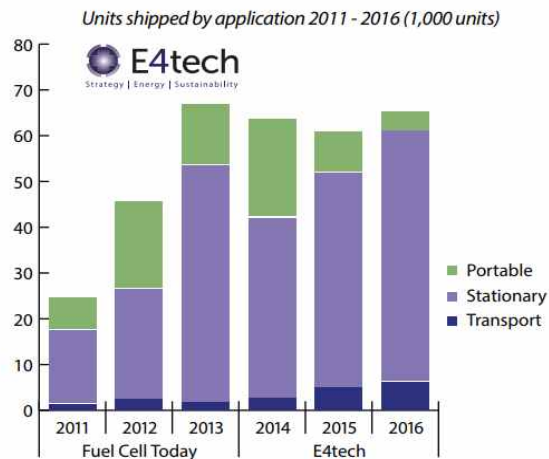
- 연료전지 응용 분야 중 중요한 분야는 휴대용, 수송용, 정치형임
 - 휴대용 분야는 휴대용 전자기기에 전원을 공급하는 장치로 사용되는 것을 말하며, 주로 휴대폰, 노트북 등 전자기기의 보조전원장치로 사용됨
 - 수송용 분야는 수송장치의 동력장치로서 연료전지가 사용되는 것을 의미하며, 차량, 열차, 선박, 항공기 등 분야가 광범함
 - 정치형은 주로 발전 분야인데, 발전용 분야는 발전소, 비상전원공급장치, 보일러 등에 발전용으로 사용되는 것을 말함

구분	휴대용	수송용	발전용
주요 분야	휴대폰, 노트북 등 전자기기	차량, 열차, 선박, 항공기	발전소, 비상전원공급장치, 보일러
시장규모	중간	큼	큼
경쟁제품	이차전지	이차전지, 디젤	디젤, 천연가스

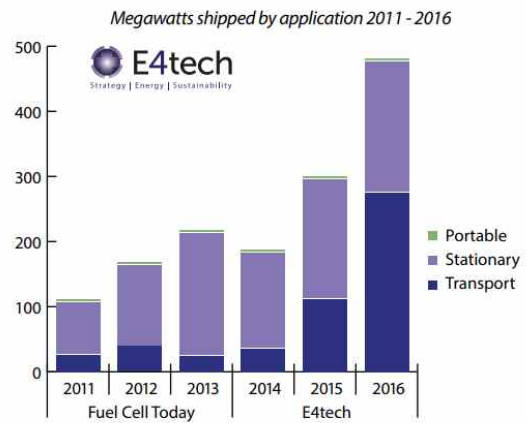
〔표 3-1〕 연료전지산업 응용분야 구분

- 최근 발전 추세를 보면, 수송용 분야가 급속도로 성장하고 있으며, 휴대용은 축소되고 있고, 발전용은 완만하게 성장하고 있음
 - 2010년대 전반기까지 발전용과 휴대용이 대부분을 차지하고 있었으나, 2015년 이후에는 수송용 시장이 급속도로 성장하고 있음
 - 발전용은 2010년대 전반기에 가장 큰 비중을 차지하고 있었으나, 2015년 이후에는 비록 절대 규모는 증가하고 있으나 상대적 비중은 축소되고 있음
- 세계 지역으로 보면, 전통적으로 북미지역이 가장 큰 시장이었으나, 최근 아시아 지역이 성장하여 가장 큰 시장을 형성하고 있음
 - 북미지역은 연료전지를 제조하는 가장 큰 공급지이자 소비지였으나, 최근 공급자 지위를 아시아에 내주었음

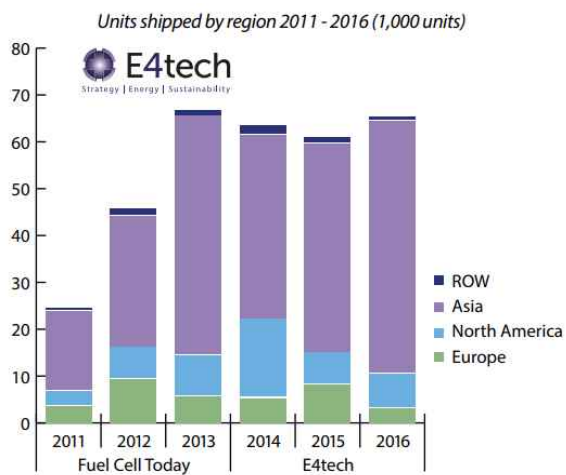
- 그럼에도 불구하고 소비지로서 북미지역은 여전히 가장 큰 영향력을 확보하고 있는데, 아시아가 공급과 수요에서 급성장하고 있음



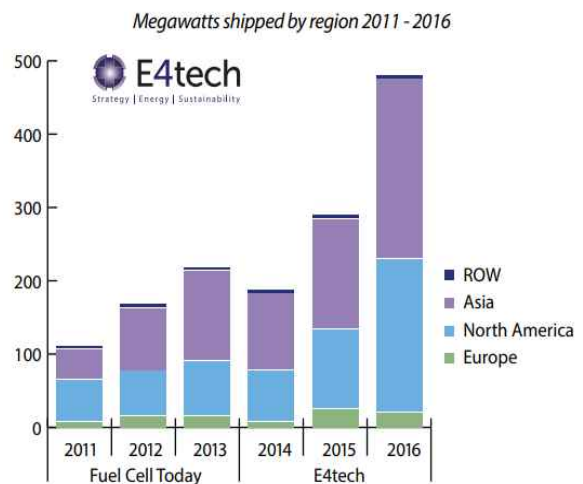
[그림 3-5] 응용분야별 실적량(2011-2016)



[그림 3-6] 응용분야별 용량(2011-2016)



[그림 3-7] 대륙별 실적량(2011-2016)



[그림 3-8] 대륙별 용량(2011-2016)

□ 정치형 응용 산업

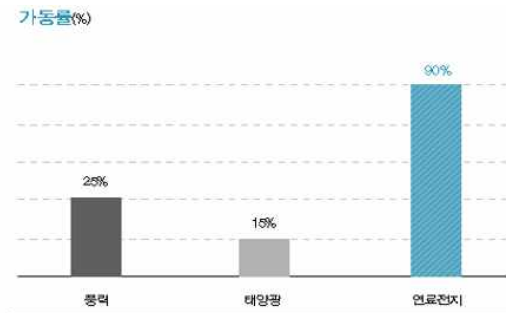
- [발전용 장치]로서 수소연료전지는 타 발전 방식보다 우월한 것으로 알려져 있음
 - 수소는 대표적인 기존 발전방식인 디젤 발전에 비해 NOx, CO2배출이 현저하게 작은 것으로 알려져 있음
 - 한편 연료전지발전의 가동율은 평균 90%로, 15~30%대 가동율을 보이는 태양광, 풍력 등 신 재생에너지를 이용한 발전보다 가동율이 훨씬 높음
 - 연료전지의 설치 면적도 태양광이나 풍력에 비해 적은 것으로 알려져 있음



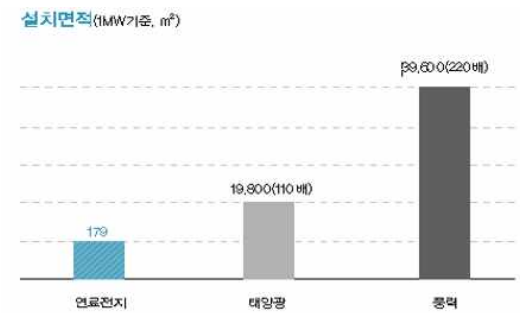
[그림 3-9] 연료전지 vs.기존발전 NOx배출량



[그림 3-10] 연료전지 vs.기존발전 CO2배출량



[그림 3-11] 연료전지 vs.기존발전 연평균 가동율

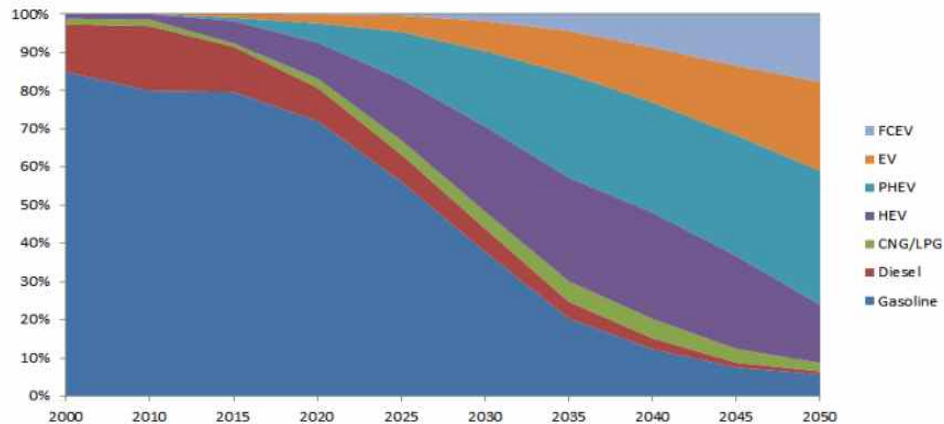


[그림 3-12] 연료전지 vs.기존발전 설치면적

출처: 지목현(2014)

□ 수송용 응용 산업

- 수송용 응용 산업은 대표적으로 차량, 건설기계, 열차, 선박, 항공기 등이 있음
 - 차량은 승용차, 상용차(버스, 트럭) 등이 대표적이며, 승용차는 저출력인 반면, 상용차는 고출력을 필요로 함
 - 건설기계는 지게차(포크리프트), 굴삭기 등 중장비, 특장차 등이 해당하며, 농기계도 이에 해당한다고 볼 수 있음
 - 열차는 주로 디젤을 동력으로 하고 있으며, 연료전지 열차는 독일, 중국 등에서 시범 운행 중이나 전반적으로 개발단계에 있음
 - 선박은 소형 요트, 중소선박, 여객선, 대형선박(벌크선, 컨테이너선) 등 종류가 다양하며, 잠수정도 이에 포함됨
 - 항공기는 현재 디젤유, 제트유를 사용하고 있으며 연료전지 항공기는 개발단계에 있음
- 자동차를 사례로 보면, 가솔린, 디젤 등 화석연료의 비중은 줄고 하이브리드, 전기차, 수소차 등 친환경차의 비중이 지속적으로 증가할 것으로 예상됨
 - 내연기관동력차는 2015년 기점으로 여전히 전체 연료 소비의 90%이상을 차지할 것으로 예상되며, 2020년에도 HEV, PHEV 등 하이브리드 차량의 비중이 늘어남에 따라 화석연료를 사용하는 차량이 감소할 것으로 예상
 - 2050년이 되면 수소차가 전체 차량의 17% 정도를 차지하여 순수 전기차, 하이브리드 전기차와 함께 주요 차량을 구성할 것으로 예상
 - 단 수소차가 본격적으로 증가하는 것은 2030년경으로 예상하며, 그 이전까지는 꾸준히 증가하난 그 비중은 매우 미약할 것으로 예상



(그림 3-13) 자동차 세계시장 전망(∼2050)

자료: IEA(2012)

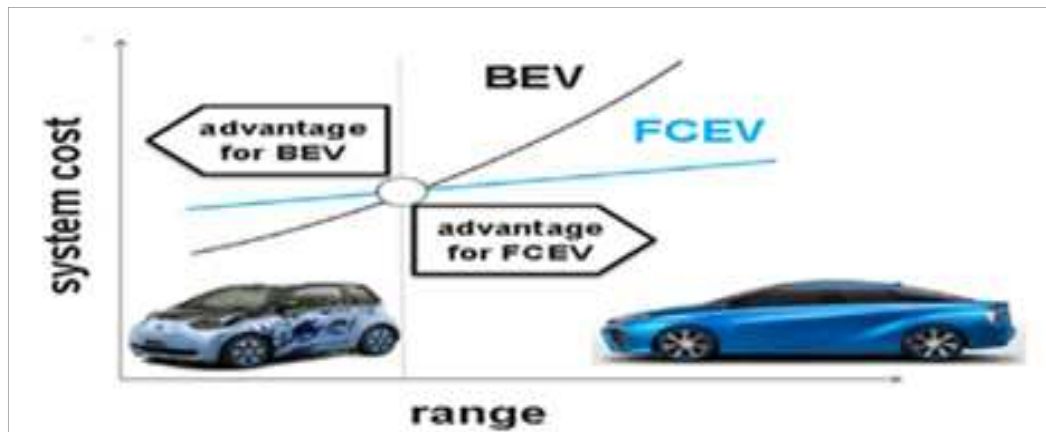
- 수송용 응용 산업은 화석연료를 사용하는 내연기관과 이차전지로 구동하는 전기차와 시너지 및 경쟁관계를 형성하고 있음
 - 전기차와 연료전지차는 내연기관동력차에 비해 공통적으로 오염물질을 적게 배출한다는 점에서 친환경차라는 공통성이 있으나, 친환경차 범주 안에서는 상호 경쟁관계에 있음
 - 연료전지차는 주행거리, 충전시간에서 장점이 큰 반면, 충전 인프라 방면에서는 전기차가 우위를 점하고 있음. 미래 시장에서는 하나가 다른 하나를 대체하는 것이 아니라 각자의 우위 시장을 확보한 상황에서 공존할 가능성이 큼

구분	전기차		내연기관 자동차		
	수소연료 전지차	플러그인 전기차(BEV)	바이오 연료	천연 가스	가솔린/ 디젤
동력원	수소	전기	바이오 연료	천연 가스	가솔린/ 디젤
Well-to-wheel 이산화탄소	△~◎	△~◎	△~◎	○	△
에너지원 이용가능성	◎	◎	△	○	○
주행거리	◎	△	◎	○	◎
충전 시간	◎	△	◎	◎	◎
인프라	△	○	◎	○	◎

◎ 탁월 ○ 양호 △보통

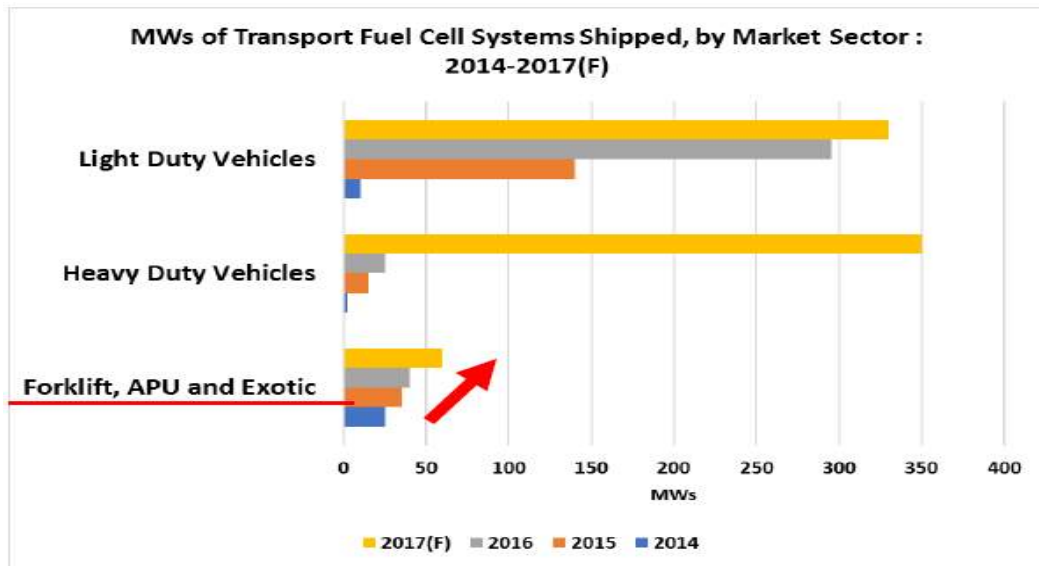
(그림 3-14) 차 유형별 장단점 비교

- 수송용 장치로서 연료전지차는 주행거리가 길수록 배터리전기차에 비해 효율적인 것으로 알려져 있는데, 이는 1회 충전에 따른 주행거리, 충전에 드는 시간 등으로 나타남
 - 1회 충전으로 연료전지차는 600km를 주행할 수 있는 반면, 배터리전기차는 최대 300km로 나타남
 - 충전시간도 연료전지차는 5분, 배터리전기차는 최소 30분이 소요됨



(그림 3-15) 배터리 전기차와 연료전지차의 주행거리 및 시스템비용 비교
출처: Herbert(2018)

- 지게차 등 건설기계 시장은 비록 그 비중은 승용차, 상용차만큼의 비중은 아니나 향후 건설기계 분야에서의 친환경화를 예고하며 시장의 일각을 차지할 것으로 예상
 - 특히 지게차 시장은 승용차, 상용차 시장과는 시장규모에서 큰 격차를 보이고 있음
 - 연료전지 지게차는 현 상황에서도 전기 지게차와 비교하여 소유자 비용 측면에서 우위에 있는 몇 안되는 틈새시장으로 알려져 있음
 - 한편, 연료전지 지게차는 건설기계 중 가장 소형 장치로서 향후 굴삭기 등 대형 건설기계의 연료전지 장착을 견인하는 징검다리로 작용할 가능성이 큼

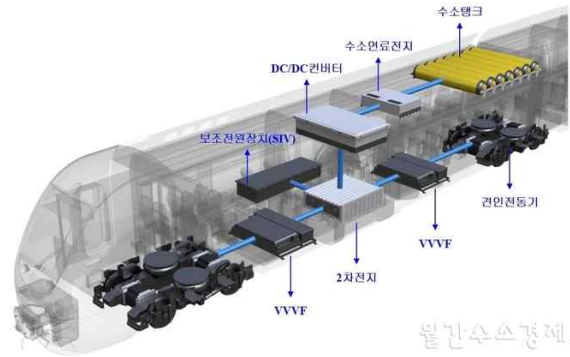


[그림 3-16] 시장 구분에 따른 선적된 연료전지 용량(2014-2017)

출처: 4thenergywave(2017)

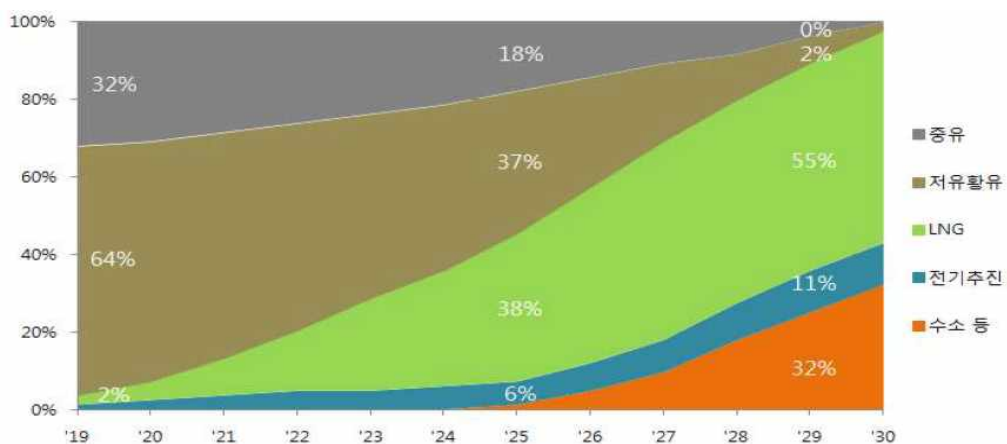
● 열차용 연료전지는 2025년부터 상용화가 예상됨

- 현재 운행 중인 열차는 에너지원에 따라 디젤전기철도차량과 전기철도차량으로 나뉜다. 디젤전기철도차량은 디젤을 연료로 엔진 구동 발전기를 회전시켜 전기를 생산하며, 전기철도차량은 선로 위에 설치된 가선(架線)으로부터 전기를 공급받아 움직인다. 디젤전기철도차량은 외부로부터의 전력 공급이 필요하지 않아 가선이나 변전소 등 전력설비가 설치되지 않은 노선에도 투입될 수 있는 대신 전기철도차량에 비해 이산화탄소 배출량이 높음. 실제로 디젤전기철도차량은 국내 철도 분야 오염물질 배출의 주요 원인으로 손꼽히고 있음
- 일본은 2006년 세계 최초로 100kW급 철도차량용 연료전지 개발에 성공했으며, 중국은 2017년 10월부터 수소연료전지 하이브리드 트램(tram)의 상업운행을 개시함. 프랑스의 알스톰(Alstom)에서 개발한 수소열차 '코라디아 아이린트(Coradia iLint)'는 상업운행을 위한 준비를 모두 마친 상황임
- 우리나라는 2018.4.~2022.12. 기간 한국철도기술연구원과 우진산전 등이 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발에 나설 계획임



[그림 3-17] 독일이 운행 중인 연료전지 열차 [그림 3-18] 하이브리드 연료전지열차 구상도

- 선박용 응용산업은 해양오염 규제에 따라 현재 주요 연료인 중유, 저유황유 대신 LNG가 쓰일 것이나 장기적으로 연료전지로 대체될 전망이다
 - 해양오염 규제는 갈수록 강화되고 있는데, 국제해사기구(IMO)는 2020년 3월 1일부터는 황 함유율이 0.5% 이상인 연료유 운송을 금지하고 오염물질저감장치(스크러버)를 설치하지 않은 선박이 황 함유율 0.5% 이상 연료유를 싣고 있을 경우 항만국 통제(PCS)에 따라 입항이 거절되거나 출항하지 못하고 억류될 수 있도록 했음
 - 이외, 선박에 의한 해양쓰레기, 온실가스 배출에 대한 규제도 준비 중이므로 장기적으로 수소 연료전지 등이 내연기관을 대체할 것으로 전망



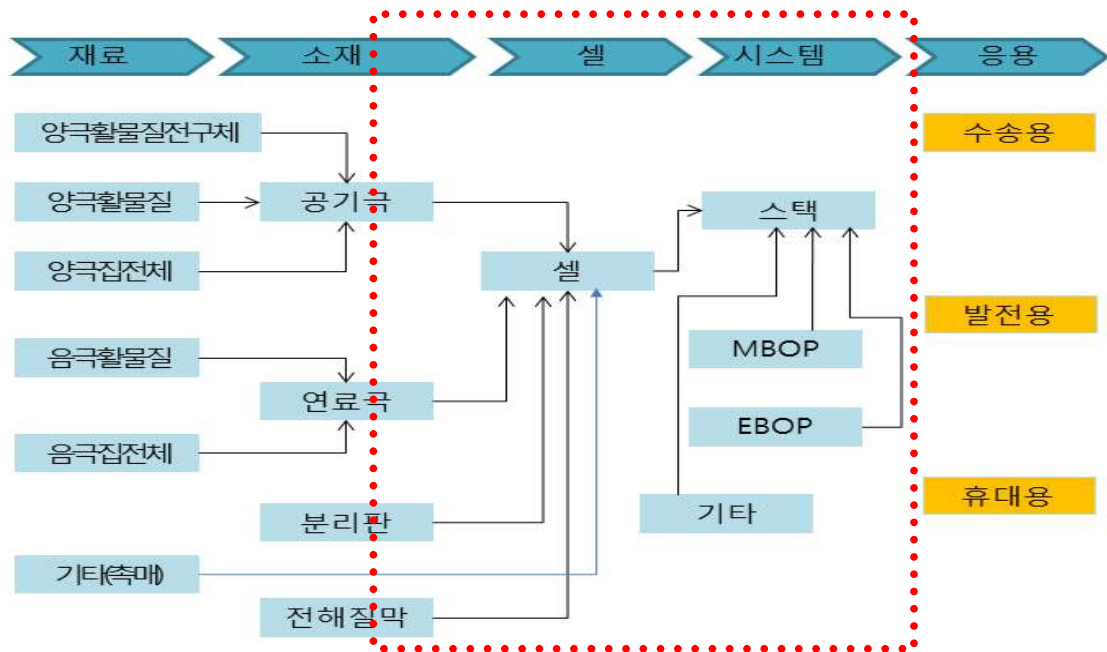
[그림 3-19] 선박 연료 비중 전환 추진(안)

자료: 조선 산업 활력 제고 방안(2018.11.22.관계부처 합동)

- 연료전지 선박은 2025년부터 상용화되어 2030년이 되면 전체 선박연료의 1/3을 수소가 차지할 것으로 전망
 - 2019년 기준 전체 선박 연료의 98%를 중유, 저유황유가 차지하고 있음
 - 2025년 기준 LNG가 38%, 전기가 6%를 차지하는 등 친환경 연료가 기존의 중유, 저유황유를 대체할 것이며, 2025년부터 수소 연료가 상용화되어 2030년에는 수소 연료가 전체 연료의 32%를 차지할 것으로 전망됨
- 항공용 연료전지는 현재 개발단계로 우선 수소 드론을 시발로 하여 경비행기, 중소항공기, 대형항공기 등으로 발전할 것으로 전망됨
 - 현재 기술 수준에서 이차전지를 탑재한 드론은 체공시간이 평균 20분정도에 불과해 상용화되기에 한계가 있으며, 수소연료 드론은 2시간 체공이 가능한 것으로 보고되고 있음
 - 항공기 추진동력원으로 사용되기 위해서는 무엇보다 동력대비 추력비가 중요한데, 현재의 연료전지 기술로는 내연기관이나 터빈엔진에 비하여 낮은 출력특성을 보임. 전투기나 수송기와 같은 고출력을 요구하는 항공체계에 적용하기 보다는 소형기나 무인항공기와 같이 저출력으로 장시간 비행하는 항공기에 활발히 적용하고 있음
 - 대형항공기는 연료전지를 항공기 보조 및 비상전원으로 활용하거나 항공기 탑재용 전자기기의 전원으로 개발 중임

3. 연료전지산업의 현황과 특징

- 연료전지산업의 범위는 전지 소재, 셀, 스택, 시스템을 제조하는 일련의 제조과정임
 - 산업 범위 관련해서는 공기극, 연료극 등 소재의 제조 관련한 분야는 연료전지산업에 포함하지 않으며, 연료전지시스템의 응용분야 또한 범위밖에 있는 것으로 정의함
 - 연료전지산업의 핵심은 셀의 조립가공 및 연료전지시스템의 조립가공을 포함
 - 연료전지시스템은 투입되는 응용분야에 따라 상이하기 때문에 이를 연료전지산업이 아니라 연료전지응용산업의 범주로 보아야 한다는 의견도 있음



(그림 3-20) 연료전지산업 범위 도해

- 소재 → 셀 → 시스템에 이르는 공정은 디스플레이, 반도체, 이차전지 등 우리나라 주력 산업과 공정의 유사성이 갖고 있음
 - 기본적으로 연속적인 생산라인 위에서 가공조립과 시스템통합(system integration)을 수행한다는 점에서 공정상 유사성이 두드러짐
 - 이러한 연속공정을 뒷받침하기 위해 자동화라인이 중요한 설비로 작용하며, 일반적으로 대규모 설비투자가 필요함
- 연료전지에 대한 수요는 근본적으로 연료전지응용산업에 의존하므로 응용산업의 발전 방향에 따라 구체적 수요 양태가 변할 가능성이 있음
 - 2000년대 연료전지의 주요 수요처는 군사용을 포함한 휴대용이었으나, 2010년대에 들어서 발전용 등 정치형 응용분야가 주요 수요처로 부상
 - 2020년에는 수송용 분야에서 수요가 증가함에 따라 연료전지는 수송용 특히 자동차 분야에서 수요가 급증할 것으로 예상되며, 이는 곧장 연료전지산업의 성장을 불러올 가능성이 큼

- 현재 연료전지산업은 선진국의 기업들이 관련 기술을 장악하고 있으며, 국내업체의 기술력도 선진국에 육박하는 것으로 알려져 있음
 - 발라드(Ballard Power Systems, 캐나다), 퓨얼셀에너지(Fuel Cell Energy, 미국), 플러그파워(Plug Power, 미국) 등이 연료전지산업 시장의 주요 공급자임
 - 이밖에 유럽에서 세레스파워(Ceres Power, 영국), 에스에프시(SFC Energy, 독일) 등이 시장을 주도하고 있음

Companies	2016		2015		2014	
	Assets	Liabilities	Assets	Liabilities	Assets	Liabilities
Ballard Power Systems (Canada)	183,446	61,903	161,331	49,717	127,949	48,715
FuelCell Energy ¹ (U.S.)	342,137	167,884	277,231	122,620	280,636	122,330
Hydrogenics Corp. (Canada)	49,273	38,891	59,368	39,120	47,555	32,079
Plug Power (U.S.)	240,832	146,122	209,456	83,567	204,181	44,715
Ceres Power ^{2, 3} (U.K.)	10,081	3,103	20,685	4,084	10,084	3,726
SFC Energy AG ⁴ (Germany)	33,793	20,454	35,889	19,331	47,256	19,667

[그림 3-21] 연료전지산업 주요 업체의 자산과 부채 규모(2014-2016)

자료: U.S. DOE(2017) Fuel Cell Technologies Market Report 2016

- 한편, 연료전지제조 전문기업 이외에 도요타, 현대자동차 등 자동차회사는 내부 수요를 바탕으로 자체 연구개발에 꾸준히 투자해 오고 있음
 - 우리나라의 두산, 포스코에너지 등 대표적 기업들은 외국회사의 지분을 인수하는 방식으로 관련 기술을 확보하고 시장 확장에 나서고 있음
- ※(주)두산은 2014년 미국의 클리어에너지파워, 한국의 퓨얼셀파워 등을 연달아 인수하면서 건물용 및 주택용 연료전지 관련 원천기술을 확보했으며, 포스코에너지는 2007 미국 퓨얼셀에너지(FCE)에 2900만 달러를 출자해 용융탄산염연료전지 시장에 진출했음
- 연료전지산업규모가 커짐에 따라 국내외 기존 기업 이외에 신규 진입업체가 늘어날 것으로 예상되어 시장경쟁이 격화될 것으로 예상
 - 현재 연료전지산업은 국내에서는 두산퓨얼셀, 포스코에너지, 에스퓨얼셀 등 사실상 대기업이나 대기업 계열사가 주도하고 있는 상황임
 - 정부의 수소산업 활성화 정책 드라이브에 따라 국내 수소 관련 산업이 급속히 성장할 것으로

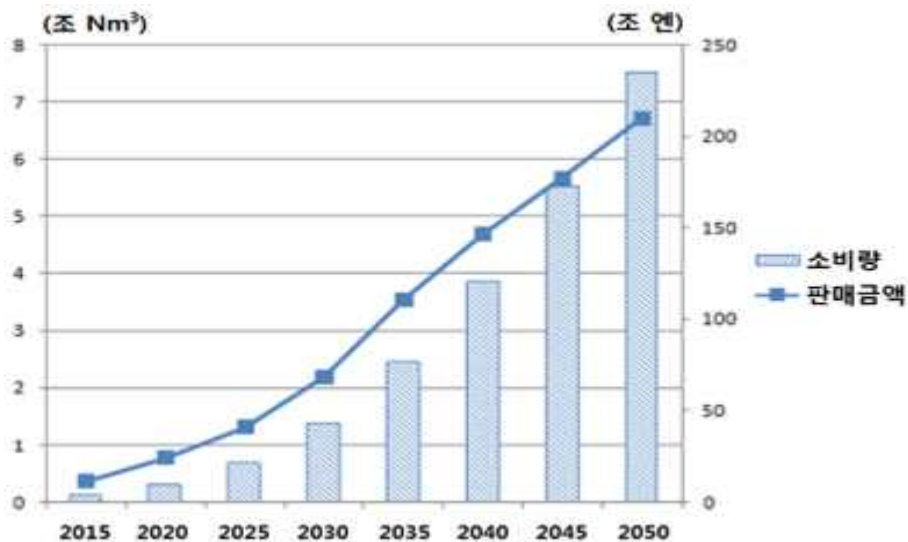
예상되며, 이에 따라 신규 대중소기업이 연료전지시장에 진출할 가능성이 커지고 있음

※ 단, 최근 포스코에너지의 연료전지매각설 파장이 시장에 상당한 악영향을 줄 것으로 보임

4. 수소에너지산업의 현황과 특징

- 수소에너지산업의 범위는 수소의 생산, 저장, 운송, 활용에 관한 것임

- 수소 생산에 투입되는 천연가스 등의 채굴은 포함하지 않으며, 수소의 이용 분야 또한 범위밖에 있는 것으로 정의함. 수소 생산에 이용되는 각종 가스, 물, 화학공정 등의 생산 및 채굴은 수소에너지산업에 포함되지 않으며, 수소의 활용 분야도 별도의 산업(연료전지응용산업)으로 분류
- 따라서 수소에너지산업의 핵심은 수소 생산, 수소의 저장 및 운송, 수소 공급에 관련한 충전 장치 관련 업종임



[그림 3-22] 수소에너지 수요 예측(2015-2050)

자료: 넷케이BP클린테크연구소(2013)

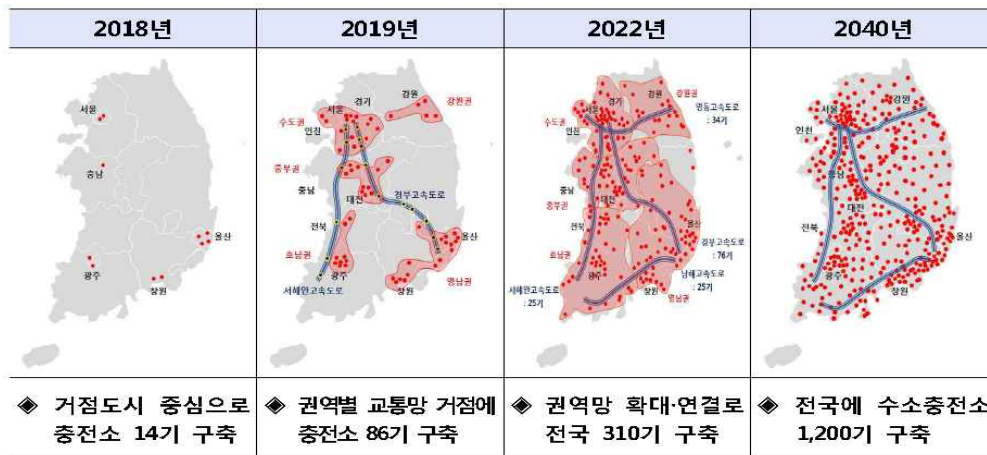
- 글로벌 수소에너지 수요는 수송용, 정치형 분야의 수요 증가에 따라 2015-2050년 기간 60배가 증가할 것으로 예측(닛케이BNP클린테크연구소)
 - 금액으로는 동일 기간 20배 증가하는 것으로, 수소 가격이 1/3로 낮아지는 것으로 예상하는 기반이며, 정부가 2050년에 2000년 대비 CO2를 80%까지 감축하는 목표를 달성하고자 할 경우 이러한 가능성은 높을 것으로 평가됨
- 2016년 기준 수소는 대부분 산업용으로 쓰이며, 향후 수송, 전력 등 분야에서 수소 수요가 증가할 것으로 예상됨
 - 한편, 2016년 전 세계 수소 연간 생산량은 6,500만 톤이며, 이용 분야는 석유 정제 및 회수 공정 47%, 암모니아 생산 45%, 메탄올 공정 4%, 금속 공정 2%, 기타 2% 임
 - 전 세계 수소 생산시장은 2016-2021년 기간 연간 5.2% 성장할 것으로 예상되며, 1,180억 달러(2016년)에서 1,521억 달러(2021년)로 증가 예상(한국수소산업협회 내부자료, 정균우·설홍수(2018)에서 재인용)
 - 꾸준한 성장은 친환경 수소에너지 수요 증가, 암모니아와 메탄올 공정 수요 증가, 오일샌드 정유와 석탄가스화 공정 수요 증가 등에서 기인
- 수소생산을 지역별로 보면, 미국 연간 1,200만 톤, 유럽 900만 톤, 일본 300만 톤, 중국 2,000만 톤임
 - 생산 방법은 미국은 천연가스 개질, 유럽은 재생에너지를 이용한 수전해, 일본은 부생수소 및 개질, 중국은 부생수소의 비중이 상대적으로 큼

※ 우리나라의 2017년 기준 연간 수소생산은 192만 톤이며, 부생수소가 대부분임

 - 지역별 수소 생산방법의 차이는 각자의 사회적 여건 차이에서 비롯됨. 석유산업이 발달한 북미는 천연가스 가격이 낮으며, 이를 원료로 수소를 생산하는 방식이 지배적인 반면, 재생에너지가 대량생산되는 유럽은 이로부터 얻어지는 전기를 이용한 수전해가 발달. 한편 일본, 중국, 한국 등 중화학공업 시설이 밀집한 국가들은 부생수소 생산방법이 주류를 이루고 있음
- 우리나라 수소에너지산업은 선진국과 비교하여 상용화 및 원천기술 방면에서 격차가 있는 것으로 파악됨

- 생산 분야에서 부생수소는 석유화학단지에서 생성되어 이미 상용화되어 있는 반면, 천연가스의 개질, 수전해는 상용화 되지않음
 - 저장·운송 분야에서 압축 저장 기술은 가능하나, 장거리·대용량 운송에 필수적인 액화 또는 액상화 기술은 아직 개발단계에 있음
 - 한편 수소충전소 관련 업종은 국내 중소기업이 주로 담당하고 있으나 선진국 업체와 비교하여 원천기술이 뒤떨어지는 약점을 갖고 있음
- 현 단계에서 우리나라 수소 생산은 부생수소 위주이며 수요가 증가함에 따라 천연가스 개질을 통한 생산이 주요 추세를 형성할 것으로 예상됨
 - 현재 kg당 수소생산가격은 부생수소가 1,500~2,000원, 개질 수소 2,700~5,100원, 수전해 9,000~10,000원이며, 부생수소의 가격경쟁력이 가장 큼(한국수소산업협회 내부자료, 정군우 설홍수(2018)에서 재인용)
 - 수전해의 경우 소요되는 전력 가격을 획기적으로 낮추어야 하는데, 이를 위해서는 재생에너지의 대량 생산이 필요하나 우리나라의 경우 현재 재생에너지의 대량생산은 미흡함
 - 천연가스 개질은 비록 가격경쟁력은 약하나 우리나라 전반적으로 LNG, LPG등 천연가스 관련 산업이 발달해 있어 가격을 낮출 수 있는 기반이 양호한 것으로 평가됨
- 수소 저장·운송 및 수소충전소 기술은 경쟁력을 갖춘 외국기업들에 비해 중소기업 위주의 국내기업들은 경쟁력이 떨어지는 상황임
 - 에어리퀴드(Air Liquid), 린데(Linde) 등 외국기업들은 우수한 기술력을 확보하고 있으나 국내기업들은 중소기업 위주로 구성되어 있어 기술개발 투자 여력이 부족한 상황임
 - 향후 이 분야에서 중소기업들의 기술수준을 선진국 수준으로 끌어올리는 것이 전체 산업생태계의 고도화를 위한 관건임
- 수소충전소 설비 시장은 급속히 팽창할 것으로 예상되나, 현재 외국계 기업이 압도적인 기술력을 앞세워 국내시장에서 주도적인 지위를 차지하고 있음
 - 정부의 수소경제 활성화 로드맵에 따르면, 정부는 2018년 현재 14개소인 수소충전소를 2022년에 310개소, 2040년에 1,200개소 이상으로 확대할 계획임

- 핵심 기술 및 관련 부품의 국산화를 통해 수소에너지의 가격 및 품질경쟁력을 향상하는 것이 건강한 산업생태계 조성을 위해 필수적임



[그림 3-23] 우리나라 수소충전소 구축 전략

자료: 수소경제활성화 로드맵(2019, 관계부처 합동)

04

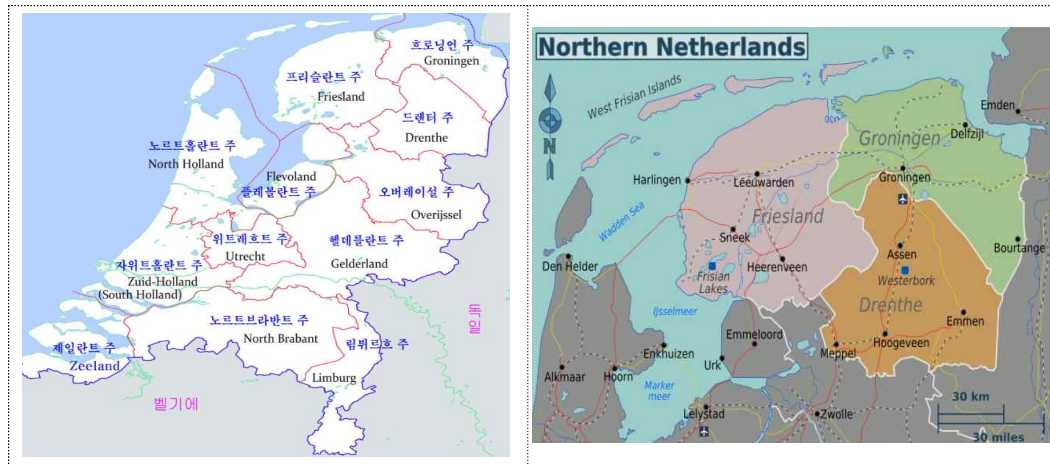
국내외 지역 수소관련산업 육성 사례

- 본 장에서는 서산시 수소 관련 산업 활성화에 참고가치가 있는 북네덜란드, 일본 아이치현, 한국 울산시 등 3개 지역에 대해 살펴보고자 함
 - 3개 지역은 국가 차원이 아닌 지역 단위에서 수소경제 활성화를 위한 정책적 노력을 기울이고 있는 대표적 지역임. 북네덜란드는 3개 주를 묶는 권역(region) 차원이고, 아이치현은 현 차원으로 우리나라의 도급 지역이며, 울산시는 광역시임
 - 3개 지역은 과거 일본 기타큐슈 등과 같이 수소타운을 중심으로 하는 ‘시범’ 적 성격을 벗어나 지역의 수소를 중심으로 지역 에너지순환 및 산업적 이용까지 아우르는 보다 포괄적인 시스템을 설계하고 있음

1. 北네덜란드 사례

- 북네덜란드의 개요
 - 북네덜란드는 드렌터(Drenthe)주, 흐로닝언(Groningen)주, 프리슬란트(Friesland)주를 포함하며, 인구는 166만명, 면적은 8,357km² 임(네덜란드 총인구 1,689만명, 총 면적 41,526km²). 최근 인구감소를 겪고 있으며, 고령화가 심화되고 있는 지역임.
 - 북네덜란드는 산업적으로 광활한 농업지역을 갖고 있으며 주산물은 감자와 슈가비트임. 흐로닝언주의 해안가를 중심으로 석유화학 단지가 집중 입지하고 있음. 산업적으로 농업 및 농업에 기반을 둔 바이오산업이 발달할 기반이 있고 여기에 천연가스채굴과 이와 결합된 석유화학이 주요산업을 이루고 있음
 - 북해 연안의 흐로닝언 지역에서 대규모 가스전이 발견되어, 세계 최대 규모의 천연가스가 매장되어 있으며, 북해연안 델프제일(Delfzijl, 흐로닝언 주) 근처에는 엄청난 양의 암염이 매장되어 있어 산업용으로 사용됨

※ 네덜란드는 유럽에서 독일에 이은 2위 수소에너지 생산국으로 수소에너지 생산을 위한 천연 가스 추출은 북네덜란드에서 이루어짐(흐로닝언(Groningen) 주가 가장 큰 비중)

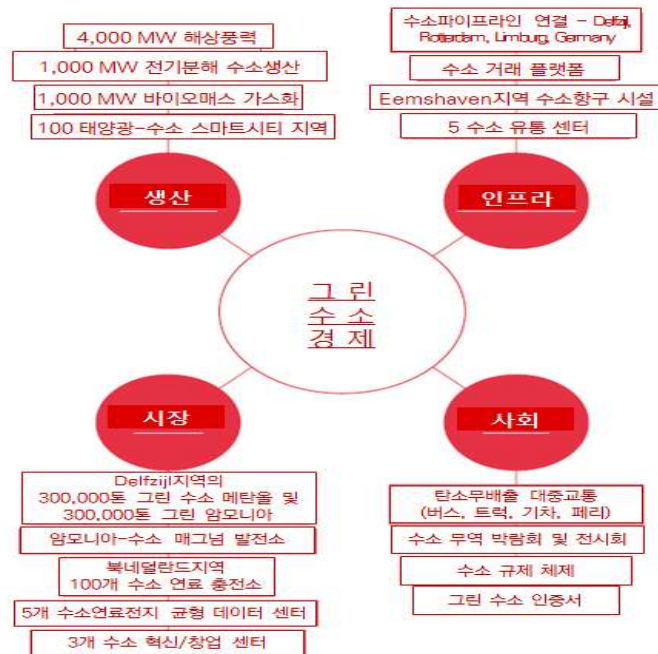


● 북네덜란드의 수소경제 추진 배경

- 파리기후협약 목표 실현의 일환으로 추진되었으며 그린 수소경제를 통해 지역경제의 활성화를 이룩하고자 함
- 북네덜란드는 풍력을 활용한 대규모 청정 전기 생산이 가능하며, 지식기반, 대규모 화학단지, 청정 전기의 수입 및 기존 가스 인프라 등이 구비되어 청정 수소경제를 실현하기 위한 여건을 갖추고 있음
- 에너지소비 측면에서 네덜란드의 가스소비는 난방수요 때문에 계절변동이 큰 반면, 전기 수요는 계절 변동이 작음. 따라서 계절적 필요에 따른 대량의 저장 시스템 필요
- 산업계, 연구자, 정부의 다양한 관계자들과의 긴밀한 협력을 통해 높은 수준의 로드맵 개발이 가능
 - ※ 민간 컨설팅사인 메타볼릭(Metabolic)과 KNN사가 북네덜란드 소속 주들의 요청을 받아 순환경제 구축을 핵심 키워드로 하는 로드맵을 작성 발표함

● 북부네덜란드의 수소경제 비전: 그린수소경제의 실현

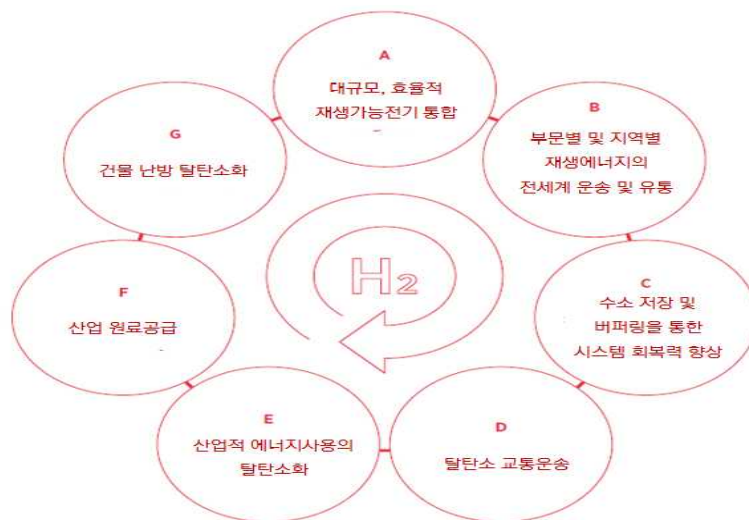
- 그린수소경제는 생산, 시장, 인프라 및 사회 측면을 포괄하는 개념으로, 그린 수소는 화학, 운송 및 전기 측면에서 에너지 전환을 촉진할 것이며, 이는 경제를 더욱 발전시키고 친환경적으로 만들 것임



〔그림 4-1〕 북네덜란드 그린수소 경제 종합도

출처: The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands(2017), 필자제작

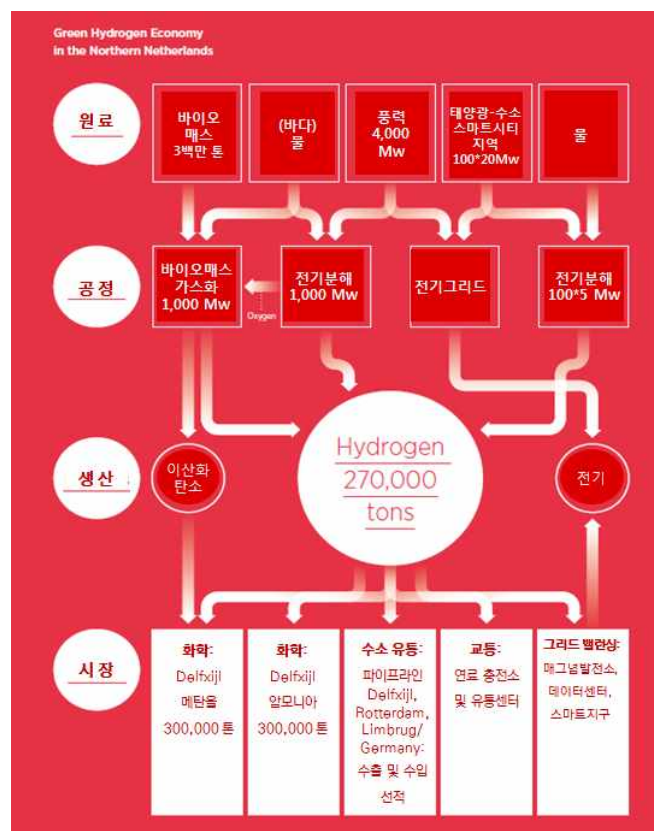
- 수소는 에너지저장체로서 재생에너지, 전기 등과 상호 결합하며, 교통, 산업, 건물 등 이용 분야에서 핵심적인 역할을 수행할 것으로 설정



〔그림 4-2〕 지역경제에서의 수소 역할

출처: The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands(2017), 필자제작

- 그린수소경제는 다양한 원료를 사용하여 그린수소를 생산하는데, 바이오메스, 풍력, 태양광, 태양열 등 다양한 자원을 이용하여 수소 또는 수소 생산에 필요한 전기 및 이산화탄소를 생산하게 됨



[그림 4-3] 수소공급 체계

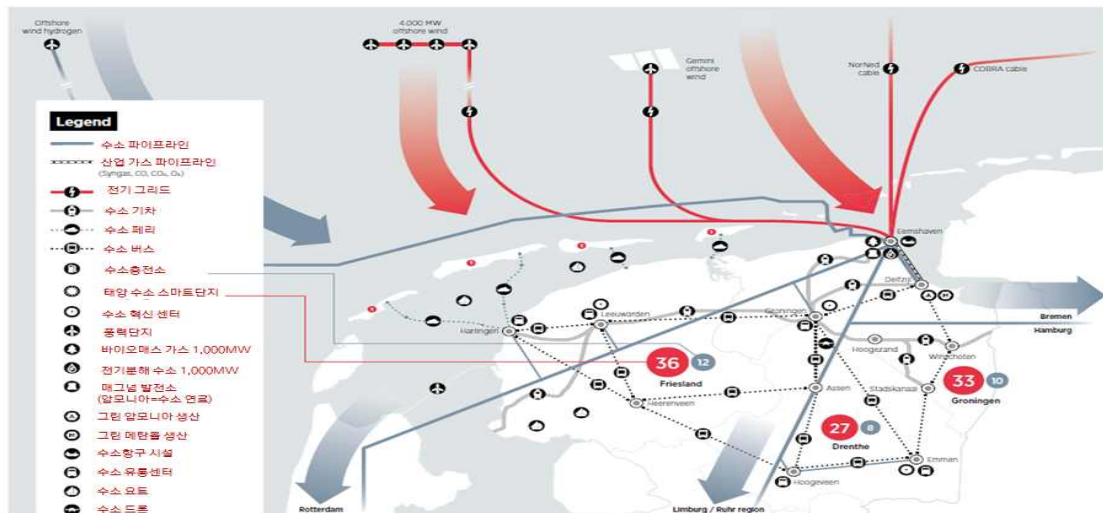
- 북네덜란드는 2050년까지 3단계에 걸쳐 수소경제를 구축하는 로드맵을 제시함
 - 수소경제의 동력을 확보하고, 기본계획 구축 및 구현을 통해 수소경제를 확장하는 목표를 제시하고 있음
 - 1단계, 2단계는 2018년까지로 설정한 준비 단계로서 기본계획을 완성하는 단계임. 이를 위해 이해관계자 관리 및 기반시설 구축, 시장, 생산, 프로젝트 개발 및 규제체제 정비 등에 대한 종합 로드맵을 제시하는 것을 목표로 함
 - 3단계는 다시 3개 소단계로 나누어지는데, 기본토대 실현 단계(~2023), 규모확장 단계(~2030), 성숙단계(~2050)으로 나누어짐. 기본토대 실현 단계는 기초생산 및 기반시설이 구

축되며, 규모는 소용량이 중심이 되는 단계이며, 규모확장단계는 미래실현을 위한 가치를 입증하는 단계로서 대용량화가 추진되는 단계임.



(그림 4-4) 북네덜란드 그린수소경제 실현을 위한 로드맵

출처: The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands(2017), 필자재작성



(그림 4-5) 북네덜란드 그린수소경제 구상도

출처: The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands(2017), 필자재작성

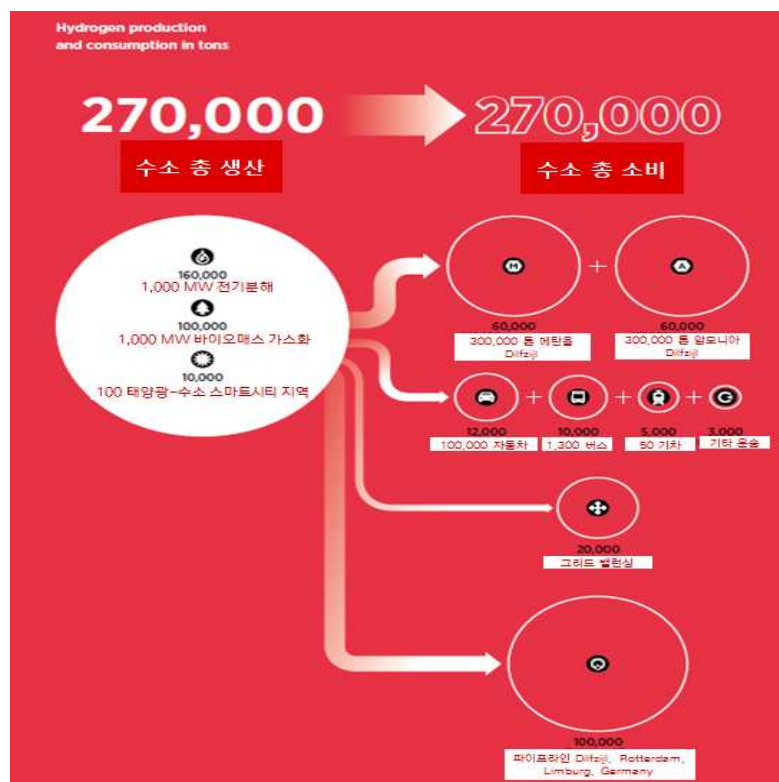
● [수소의 생산]

- 북네덜란드 지역은 2017-2030년 기간 매년 수소 27만톤 생산을 목표로 함(네덜란드 총 수소시장 연 210만 톤)

- 16만 톤은 풍력을 통한 전기로 수전해 방식으로, 10만 톤은 바이오매스 가스화를 통해, 1만 톤은 태양광을 통한 수전해 방식으로 생산하고자 함
- 전반적으로 풍력 에너지를 전기에너지로 전환하여 이를 가지고 수전해하는 방식과 바이오매스 가스화를 통해 수소를 생산하는 방식이 핵심을 이루고 있음. 풍력을 통한 수전해에 1,000MW 전기, 바이오매스 가스화에 1,000MW 전기가 소요되는 것으로 바이오매스 가스화에도 전기를 투입하는 구조임
- 대규모 그린 수소생산은 수소의 가격경쟁력을 창출하게 됨(2-3유로/kg)

● [수소의 소비]

- 생산된 수소 중 기존 화학 클러스터 단지인 Delfzijl지역에 메탄올과 암모니아로 생산으로 12만톤이 소비되며, 나머지 수소자동차, 버스, 기차, 기타 운송장비 등으로 3만톤, 그리드 밸런싱(그리드 순환+난방) 2만톤, 각 지역 및 나라(Delfzijl, Rotterdam, Limburg, Germany)로 이어지는 파이프라인을 통해 10만 톤을 수출하는 계획을 제시함



[그림 4-6] 북네덜란드 그린수소 총 생산 및 소비

출처: The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands(2017), 필자제작성

● [투자계획]

- 북네덜란드는 기존 화학 클러스터(Delfxijl and Emmen) 및 가스 인프라 활용함으로써 비용 효율적인 수소경제를 구축하는 계획을 제시함
- 2030년까지 총투자 금액은 17.5~25십억 유로이며, 대부분의 투자는 수소생산분야임

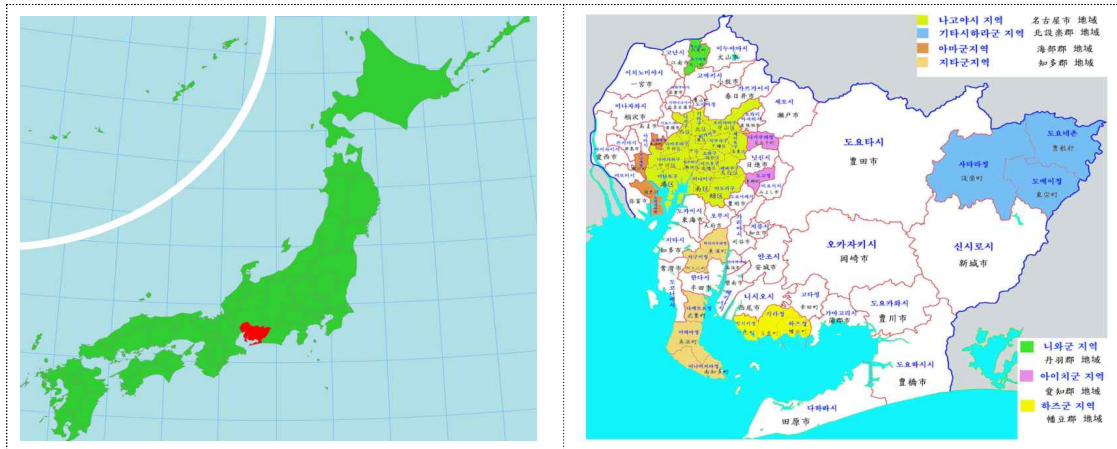
북네덜란드 그린수소경제	투자(백만 유로) 2018-2030	총투자대비 비율(%)
생 산	15,000-20,000	80.0%
- 풍력 4,000 MW	12,000-15,000	60.0%
- 전기분해 수소생산 1,000 MW	500-1,000	4.0%
- 바이오메스가스화 수소생산 1,000 MW	500-1,000	4.0%
- 태양광 수소 스마트시티 지구 100개	2,000-3,000	12.0%
시 장	1,000-1,800	7.2%
- 그린메탄올 300,000톤/그린암모니아 300,000톤	600-1,000	4.0%
- 암모니아수소 매그넬발전소	불포함	.
- 수소 충전소 100개	100-200	0.8%
- 수소연료전지 균형 데이터 센터 5개	200-400	1.6%
- 수소 혁신/SME/창업센터 3개	100-200	0.8%
인프라	700-2,000	8.0%
- 수소 파이프라인: Delfxijl, Rotterdam, Limburg, Germany	200-1,000	4.0%
- 수소 거래 플랫폼	50-100	0.4%
- 수소 항구시설 - Eemshave	400-800	3.2%
- 수소유통센터 5개	50-100	0.4%
사 회	800-1,200	4.8%
- 무탄소 대중교통(버스, 트럭, 기차, 페리)	800-1,200	4.8%
- 수소 무역박람회 및 전시회	0-10	0.0%
- 수소 규제체제	0-10	0.0%
- 그린수소 인증서	0-10	0.0%
해상풍력발전단지 포함 전체	17,500-25,000	100.0%
총 수소 관련 투자	5,500-10,000	40.0%

- 북네덜란드 사례는 수소에너지의 생산과 소비를 자체의 석유화학단지의 공정과 긴밀히 연결한다는 점에서 대담한 시도임
 - 기타큐슈나 타 도시들은 대부분 석유화학단지에서 나오는 부생수소를 이용하는 것에 초점을 맞춘 반면, 북네덜란드는 석유화학단지에서 생산되는 원료와 그 생산물을 모두 포괄하여 수소가 중심이 되는 순환체계를 구축하고자 함
 - 물론 풍력을 통한 풍부한 전력, 천연가스를 기반으로 하는 석유화학이라는 특징을 갖고 있기 때문에 가능한 것으로 보이나, 대규모 석유화학단지를 보유하고 있는 서산시에게 수소경제 활성화를 위한 나아갈 바를 제시하고 있음

2. 일본 아이치현 사례

● 일본 아이치현 개요

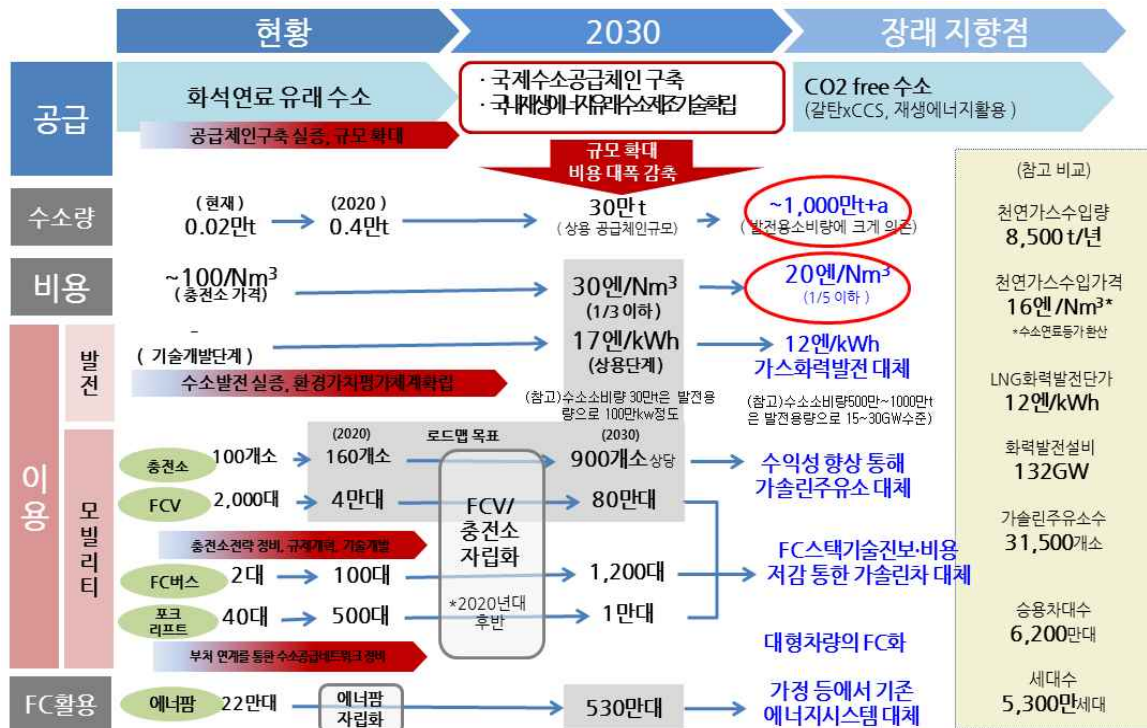
- 아이치현은 일본 혼슈 중부지방에 위치한 현(Prefecture)으로서 인구는 740만명, 면적은 5,153km², 현청소재지는 나고야시임
- 제조품 출하액은 40조 엔으로 36년 연속 전국 1위(그 중 자동차산업이 20.8조 엔 차지)
- 토요타자동차를 중심으로 자동차산업이 세계적 수준으로 발달하였으며, 현내의 토요타시, 토요하시시, 타하라시 일대 등지에 토요타 관련 공장이 있음. 또한 개인 자동차보유대수가 500만대로 전국 1위를 차지하고 있음



● 일본 아이치현은 중앙정부의 ‘수소사회 실현’ 비전에 적극 동참하고 타 지역을 선도하고자 하는 취지에서 적극적인 정책을 추진하고 있음

- 일본 중앙정부는 2014년 제5차에너지기본계획에 ‘수소사회’를 공개적으로 국가목표로 천명 한바 있으며, 2017년 12월 수소기본전략을 발표하여 2030년까지의 수소경제 진입을 위한 로드맵을 발표
- 제5차 에너지기본계획의 기본방향은 2030년 에너지믹스의 실현을 위한 추진활동 강화 및 2050년 에너지 전환·탈탄소화를 향한 정책 설정이며, 재생에너지의 확대를 도모하는 가운데 원자력발전 의존도를 축소한다는 것임
- 수소기본전략은 세계 최초로 수소사회 실현목표를 향한 전략적 로드맵으로서 비용절감, 수소 수요 확대를 위한 행동 목표를 제시하고 있음

- 2018년 4월 27일 제5차에너지기본계획 수립 방향을 제시하는 기본방향(안)을 발표하였으며, 기본 방향은 4차와 동일하게 2030년 대책 및 2050년까지의 에너지전환·탈탄소화 정책방향을 포함하며, 재생에너지 역할을 더욱 강화하는 것을 목표로 설정하고 있음

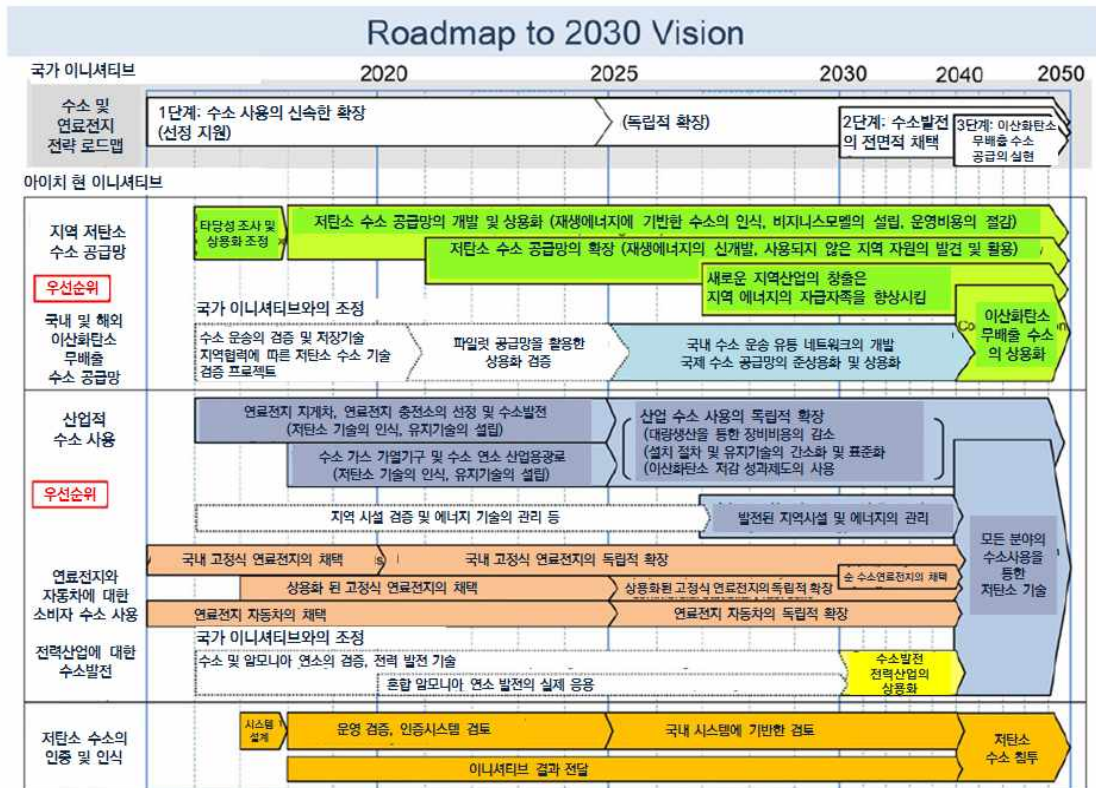


[그림 4-7] 일본수소기본전략(2017.12.26)

홍원표 · 강수현(2018) 재인용

- 아이치현은 ‘총체적인 수소기반 사회 형성’ 을 비전으로 제시함
 - 수소사회는 저탄소사회의 전환을 위하여 교통 분야뿐만 아니라 산업분야를 포함하는 다양한 분야에서의 에너지 전환을 의미함
 - 국가 차원에서 기본수소전략뿐 아니라 수소연료전지에 대한 전략 로드맵을 구축한 것을 고려하여, 지역의 저탄소 수소 공급망 구축을 위한 지속가능한 개발, 전기, 교통, 난방 및 산업생산의 다양한 분야에서 탄소저감, 전 지역에 수소공급 확장을 통한 화석연료 의존성 감축을 목표로 함
- 아이치현은 현 차원에서 2030년까지 ‘저탄소 수소 공급망 구축’ 을 목표로 하는 2030 비전을 발표

- 아이치현, 전력 공급사인 추부(中部)전력, 도요타자동차, 도요타자동기기 등으로 구성된 ‘아이치현 저탄소 수소 공급체인 추진협회’ 에서 ‘2030 비전’ 을 발표
- 정부의 수소 및 연료전지 전략 로드맵과 긴밀히 연동하여 지역 저탄소 수소 공급망 구축과 산업적 수소 이용을 골자로 하는 아이치현 수소 이니셔티브를 발표하고 관련 로드맵을 작성
- 재생에너지에 기반을 둔 수소에 대한 인식, 비즈니스모델의 구축, 운영비용의 절감 등을 목표로 하며 장기적으로는 이산화탄소 무배출 수소의 상용화를 지향
- 연료전지 지게차, 정지형 연료전지, 수소 발전 등 활용 분야를 구축하는 것을 목표로 하고 있으며, 장기적으로는 모든 분야의 수소사용을 통한 저탄소 기술 확산을 지향함



(그림 4-8) 2030비전 로드맵

출처: Plan to Develop Aichi Low-carbon Hydrogen Supply Chain Moves Forward(2018), 필자재작성

- 아이치현은 현 차원에서 2030년까지 ‘저탄소 수소 공급망 구축’ 을 목표로 ‘아이치현 저탄소수소 공급망 구축 프로젝트’ 에 착수

[illegible]

출처: Plan to Develop Aichi Low-carbon Hydrogen Supply Chain Moves Forward(2018), 필자재작성

- 40 ■ 시군협력과제

- 아이치현 사례는 ‘저탄소 수소공급망 구축’ 을 목표로 한 것으로 기존 전력그리드를 바탕으로 한 점진적인 수소사회 전환 전략임
 - 아이치현 사례는 바이오매스를 기반으로 한 재생에너지 생산 및 소비를 기초로 수소의 생산에 소요되는 에너지 문제를 해결하고 있음
 - 풍력과 태양광 등을 통한 대량의 재생에너지 생산이 가능한 북네덜란드와 달리 재생에너지 생산 기반이 취약한 아이치현으로서는 그린수소보다는 사실상 ‘회색수소(grey hydrogen)’ 생산을 추구하는 현실적 전략을 채택함
 - 재생에너지 자원이 빈약한 지역에게 현실적인 참고가치가 있음

4. 울산광역시 사례

- 울산시는 우리나라 남동해안지역에 위치한 우리나라 최대 공업도시임
 - 인구는 118만명, 면적은 1,060km²로 광역시 중에서는 가장 작은 면적을 가지고 있음
 - 울산시는 일인당 GRDP가 5만3천 달러로 우리나라에서 가장 높은 광역시도로 석유화학, 자동차, 조선업을 주력산업으로 하고 있음
 - 전국 대비 생산액에서 석유화학산업 1위, 자동차 및 조선업은 2위를 차지하고 있으며, 한국 전체 공업 생산량의 11.6%를 생산, 667억불을 수출하는 지역임
- 울산시는 주역산업의 정체 속에서 수소에너지산업을 지역의 신성장산업으로 육성하고자 함
 - 최근 조선업, 자동차산업의 부진으로 인해 제조업 전반 위기가 확산되는 가운데 인구감소 등 문제를 겪고 있어 신성장산업 발굴이 시급함
 - 울산시는 전국 최대 수소생산지역이자 자동차생산 거점으로서 수소생산 및 활용에 있어서 유리한 입지를 갖고 있음. 이를 활용하여 수소에너지의 신성장산업으로 육성하고자 함
 - 울산은 석유화학단지 부생수소 생산, 국내최초 수소타운 건립(2013), 연료전지발전소 건설(2013), 친환경전지융합실증화단지(2019 예정) 등 기반조성을 꾸준히 수행해 옴
 - 2017년3월~2018년3월 기간 울산테크노파크는 ‘수소 기반 에너지허브 프로젝트 기획사업’ 용역 방식으로 울산의 수소에너지 발전 로드맵을 도출

● 울산시는 글로벌 수소산업 선도도시로 도약하는 것을 비전으로 제시함

- 2018~2045년 기간 수소이용 확대 등을 거쳐 2035년에는 글로벌 수소산업 선도도시로 도약하는 것을 비전을 제시하였으며, 2045년에 이르러서는 수소에너지산업의 주력산업화를 목표로 설정함
- 구체적으로 단계를 나누어 1단계(~2025)에는 수소 이용 확대, 2단계(~2035)에는 글로벌 수소산업 선도도시로 도약, 3단계(~2045)에는 수소에너지산업의 주력산업화를 단계별 목표로 설정함



(그림 4-11) 울산 수소에너지산업 육성 로드맵

출처: 울산테크노파크 자료 제공

- [수소 생산] 관련 단기적으로는 부생수소를 활용하고 장기적으로는 수소 수입을 적극 고려하여 울산시를 전국적 수소물류거점으로 육성하고자 함
- 울산은 전국 수소생산량의 약 50%(82만톤)를 담당하며, 잉여 수소는 9.5만톤 수준으로 이는 초기 수소전기차용 수소 유통 시장선점에 용이함

〔표 4-1〕 지역별 국내 수소생산 현황

지역	생산 능력			외부 판매		
	Nm3/hr	ton/년	비율(%)	Nm3/hr	ton/년	비율(%)
울산 국가산업단지	1,206,170	816,167	49.7	141,700	95,883	42.0
여수 국가산업단지	820,000	554,862	33.8	142,800	96,627	42.4
대산 산업단지	267,000	180,668	11.0	46,000	31,126	13.6
기타 지역	135,000	91,755	5.6	6,600	4,466	2.0
합 계	2,428,770	1,643,452	100.0	337,100	228,102	100.0

자료: 울산테크노파크

- 단기적으로는 부생수소의 활용을 선발우위로 활용하고 이외 천연가스 개질, 수전해 등을 이용한 수소 생산방식을 실증을 거쳐 확보
- 장기적으로는 국외 수소를 수입하되 울산이 전국적인 수소 물류의 거점이 되도록 관련 운송/저장 기술의 개발 및 확보에도 심혈을 기울임



〔그림 4-12〕 울산시 수소 생산/저장/이송 거점기능화

출처: 울산테크노파크 자료 제공

- [수소 이용 확대] 관련 수소차, 충전소, 연료전지의 보급 확대를 중점적으로 추진함
 - 2018~2025년 기간에 수소의 수요 확대를 위해 연료전지차, 수소버스, 수소택시 등 수송용 차량, 충전소 그리고 연료전지발전 등 연료전지의 보급을 중점적으로 추진. 연료전지차 보급 10,000대, 버스 시범운영, 수소충전소 확대 20기, 수소시티 구축(온산), 산업단지연료전지시범 보급, 수소 기반에너지저장 기술 실증 등을 목표로 함
 - 장기적으로는 주력산업인 화학(소재) 및 자동차, 조선(기계부품) 분야의 High-end 아이템 발굴 및 사업화/보급으로 중장기적 주력산업화를 목표하고 있음



(그림 4-13) 울산시 수소이용확대 중장기 로드맵

출처: 울산테크노파크 자료 제공



(그림 4-14) 주력산업연계 및 법규·수용성 강화 전략

출처: 울산테크노파크 자료 제공

- 울산시 사례는 국내 최초로 지자체 차원의 수소에너지 산업 육성 로드맵이라는 점에서 큰 의미를 갖고 있음
 - 울산시는 지역차원에서 수소에너지 산업 육성 로드맵을 수립했으며, 이는 국가 차원의 로드맵이 없는 상황에서 수립한 것으로 지역 차원에서 수소도시의 대표라는 이미지를 구축하는데 기여했을 뿐 아니라 국가정책 수립에도 기여한 것으로 평가됨
 - 북네덜란드나 아이치현과 비교하여 수소에너지 생산관련 재생에너지와 수소에너지와의 관계에 대한 고려 부족, 산업적 이용에 대한 청사진 불분명, 투자계획에 대한 면밀한 검토 부족 등 한계를 안고 있음
 - 울산시 사례는 서산시의 관련 계획 수립에 있어서 선행 사례로서 참고가치가 큼

5. 국내외 사례가 서산시에 주는 시사점

- 북네덜란드, 아이치현, 울산시 사례는 예전에 부생수소 및 수소타운을 중심으로 한 일본 키타큐슈나 울산시 사례와 견주어서 진일보한 측면을 다수 포함하고 있음
 - 지금까지 지역 차원의 수소 관련 산업 육성 사례는 일본 키타큐슈와 우리나라 울산시 등지에서 부생수소를 이용한 정치형 응용 즉 수소타운의 건설 및 운영을 중심으로 전개되어 왔음
 - 북네덜란드, 아이치현, 울산시 사례는 이에서 한걸음 더 나아가 그린수소 등 재생에너지를 기반으로 한 수소의 생산 또는 수소의 수입 등을 검토하는 단계까지 발전하고 있음
 - 또한 수소의 이용이 발전용, 제한된 수송용에 머무르지 않고 지역의 산업과 결합한 전면적인 지역 수소순환체계를 고민하는 방향으로 발전했음
- 한편 북네덜란드, 아이치현, 울산시 사례는 각 지역이 갖고 있는 여건의 차이를 분명하게 드러내고 있음
 - 풍부한 풍력발전과 가스 기반 석유화학단지를 보유한 북네덜란드는 그린수소경제를 전면에 내세우며 산업적 이용까지 포함한 전면적인 수소경제 구현을 겨냥하고 있음
 - 자동차 등 제조업 기반이 튼튼한 아이치현은 수소를 매개로 바이오매스를 중심으로 한 재생에너지와 연료전지자동차의 결합을 핵심으로 하는 수소순환경제를 제시하고 있음
 - 부생수소가 풍부한 울산시는 부생수소와 수송용 수요와의 결합을 기본으로 전국적인 수소의 배급유통 거점으로 성장하고자 하고 있음

〔표 4-2〕 세 사례 지역의 요약

구분	북네덜란드	아이치현	울산광역시
배경	풍부한 재생에너지원(해상풍력)	풍부한 기존 제조업 인프라	전국 수소생산량의 50%를 담당하는 전국 1위 생산능력
목적	그린수소경제로의 전환	자동차 외 폭넓은 산업에서 수소 활용을 촉진해 인프라 정비 구축	지역경제 활성화를 위한 산업구조 개편
비전	친환경 수소경제의 실현	저탄소 사회 실현	글로벌 수소산업 중심도시
로드맵	2050년까지 그린수소경제 실현	2050년까지 이산화탄소 무배출 수소공급 실현 모든 분야의 수소사용 저탄소 수소의 인증 및 인식	2045년까지 수소 주력산업화 성장
핵심사업	<ul style="list-style-type: none"> · 생산: 해상풍력, 바이오매스, 태양열을 통한 수소생산 · 인프라: 수소파이프라인 연결, 수소거래 플랫폼, 수소 항구, 수소유통센터 설치 등 인프라사업 · 시장: 메탄올 및 암모니아 생산, 수소연료 충전소, 데이터센터 및 혁신창업 센터 설립 · 사회: 탄소무배출 대중교통 및 수소무역 박람회 및 전시회, 수소규제 체제 및 그린 수소 인증서 사업 등 	<ul style="list-style-type: none"> · 정치형 연료전지, 수소발전기, 저탄소 산업활용 · 연료전지를 활용한 저탄소 자동차, 버스, 트럭 상용화 · 고정식연료전지 및 수소발전기를 통한 저탄소 소비자용 에너지 	<ul style="list-style-type: none"> · 수소전기차 클러스터조성 · 수소충전소 확대 · 수소시티 구축(온산) · 석유화학단지 내 수소연료 전지 보급 · 수소 ESS기술실증 · 전국 수소배급유통 거점
예산	250억 유로 (32조 원)	미상	2,500억원
추진체계	NIB(Northern Innovation Board) (북네덜란드 기업, 정부, 학술연구소 등의 협력체로서 2014년 북네덜란드혁신어젠다 창출)	아이치현(지방정부), 추부전력, 도요타자동차, 도요타자동차로 구성된 추진협회	미상

● 세 지역 사례가 서산시에 주는 시사점은 다음 4가지로 요약할 수 있음

● 첫째, 수소경제 실현의 전제인 그린수소의 생산이 본격적인 의제로 제시되고 있음

- 지금까지 수소의 생산은 부생수소의 활용 차원에 머물렀던 것에 비해 수소 특히 그린수소를 생산하는데 방점을 두었던데 반해 세 지역 사례는 천연가스 개질, 수전해 등 방식을 본격적으로 고려하고 있음
- 재생에너지를 통한 얻은 전기에너지를 수전해, 천연가스 개질에 사용하는 등 재생에너지의 발전이 그린수소 생산에 전제가 되고 있으며, 비록 세 지역의 여건 차이가 있기는 하지만 지향

하는 방향은 그린 수소 또는 무탄소 수소임

- 서산시는 부생수소 생산지라는 초기 이점을 활용하되 이를 뛰어넘어 그린수소 확보 방법을 고민하고 이를 전략적으로 모색해야 함

- 둘째, 석유화학산업, 가스파이프라인 등 기존 산업 인프라와 수소 관련 산업과의 연계를 통해 수소경제로의 전환을 촉진하는 방법을 모색하고 있음
 - 북네덜란드의 석유화학단지, 가스파이프라인, 아이치현의 자동차제조업 및 연료전지 지게차 수요, 울산의 가스파이프라인의 활용 등을 통해 인프라 구축비용을 대폭 절감하는 한편 기존 인프라의 활용도를 높이고 있음
 - 특히 산업적 이용을 포함함으로써 전면적인 수소순환경제의 부상을 예고하고 있음. 부생수소와 같이 기존 산업으로부터 수소를 얻는 것뿐 아니라 반대로 기존 산업의 수소 이용을 발굴함으로써 산업적 이용과 수소순환을 결합하고 있음
 - 서산시는 부생수소 확보에 머무르지 않고 수소의 산업적 이용에 대한 가능성을 모색할 필요가 있음. 다만, 북네덜란드가 천연가스 기반 석유화학단지인 것에 비해 서산시는 원유 기반 석유화학단지인 점을 고려하여 세부공정까지 파악하여 산업적 이용을 수소순환에 편입시키는 방안을 찾아야 함

- 셋째, 비록 지역마다 차이는 있으나 지역 차원의 전면적인 수소경제사회를 명시적으로 지향하고 있음
 - 북네덜란드는 그린수소경제, 아이치현은 무탄소 수소사회, 울산시는 글로벌 수소산업 선도도시 등의 비전을 제시하고 있음
 - 각 사례는 비록 그 용어나 구체적 표현은 다르나 지역 차원에서 청정 수소를 매개로 한 수소경제 사회의 구현이라는 대의에 따라 지역 차원의 로드맵을 수립하고 있음
 - 다만, 울산시의 경우 산업적 접근으로 수소사회 또는 수소경제 등을 표방하는 외국 사례에 비해 보다 낮은 차원의 비전을 제시하고는 있음

- 넷째, 비전 및 로드맵의 수립 및 실행을 위해 민관산학이 연합한 지역 거버넌스를 구축하고 있음
 - 북네덜란드는 NIP, 아이치현은 추진협회 등이 있으며 이러한 협의체 또는 협회는 로드맵의

기획, 수립 단계부터 조직되어 운영되고 있음

- 울산시의 경우 울산시가 발주하고 울산테크노파크가 용역을 수립하는 방식으로 로드맵이 제시되었는데, 이 방식으로는 로드맵 수립 단계에서부터 지역 차원의 거버넌스를 형성해 나가기에는 한계가 있음

- 서산시의 수소 관련 산업의 발전방향 설정을 위해 SWOT분석을 사용함
 - 현재 수소 관련 산업을 이끌고 있는 연료전지 응용산업은 신흥 산업으로서 발전의 초기단계에 있으므로 기회나 위협 등 외부 여건의 규정성이 상대적으로 강하며, 서산시라는 지자체 차원의 산업 발전 방향은 외부 영향 요인이 중요
 - 따라서 외부 요인과 내부 요인을 균형 있게 결합한 발전 방향을 도출하기 위해 SWOT분석기법을 적용하고자 함
 - 앞선 장에서 글로벌 요인들에 대한 소개와 요약은 이미 수행했으므로 여기에서는 정부 정책을 중심으로 기회요인과 위협요인을 파악하고 서산시의 수소 관련 산업의 현황을 중심으로 강점과 약점을 파악함

1. 정부의 수소경제 활성화 전략

□ 국가 수소산업 로드맵 발표

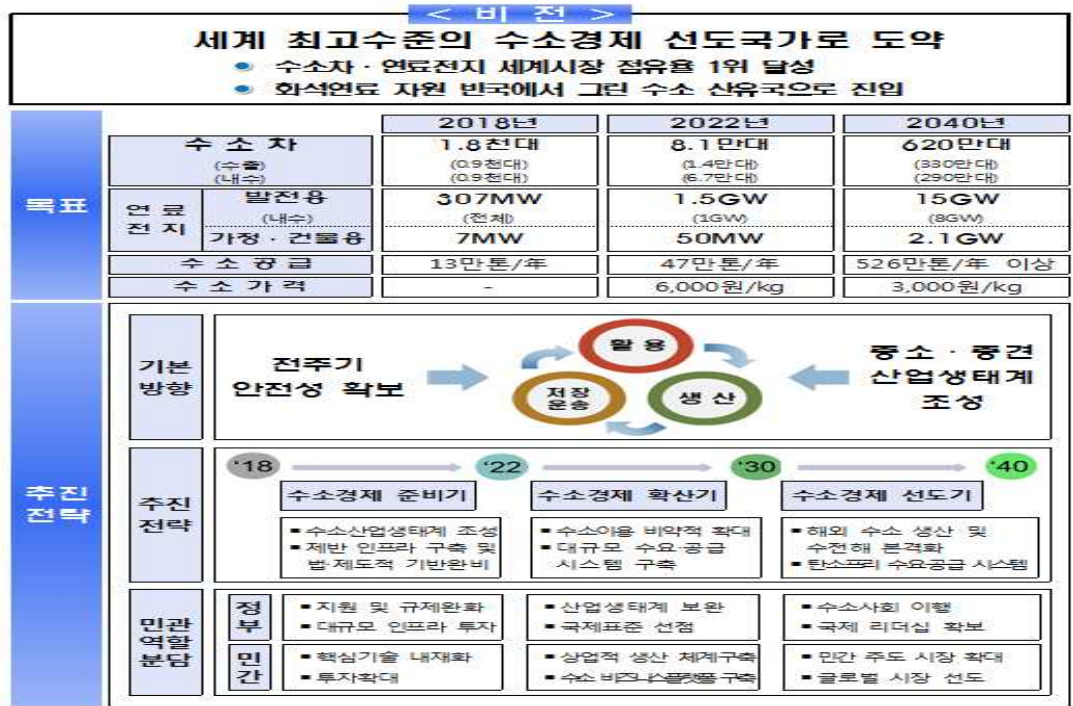
- 우리나라 산업통상자원부에서는 세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약이라는 비전으로 수소경제 활성화 로드맵을 발표(2019.1.17)
 - 우리나라가 강점이 있는 ‘수소차’와 ‘연료전지’를 양대 축으로 수소경제를 선도할 수 있는 산업생태계 구축을 목표로 함
 - [수소차] ‘18년 기준 수소차 누적 생산량 2천대, 수소충전소 14개에서’ 40년 기준 수소차 누적생산량 620만대, 충전소 1,200개, 수소택시 8만대, 수소버스 4만대, 수소트럭 3만대 보급을 목표함
 - [연료전지] 발전용 연료전지를 재생에너지 활용 수소 생산과 연계하여 15GW이상 확대하고 수출산업화를 추진하며, 가정·건물용 연료전지도 ‘40년까지 2.1GW(약 94만 가구)보급 목표

- 수소활용과 관련하여 수소차 외에 수소선박, 수소열차, 수소건설기계 등으로 확대하고 미래 유망품목으로 육성하고자 함

- 수소경제 활성화를 위하여 경제적·안정적인 수소 생산 및 공급시스템 조성 방안
 - [수소공급] 수전해 및 해외생산·수입 등 Co2 Free 그린수소 비중을 확대하여 '18년 13만톤 수준에서' 40년 526만톤 이상으로 확대 목표
 - [수소저장] 현재의 저용량·기체에서 고효율·액체 등으로 다양화하고, 전국적인 파이프라인 공급망 구축 목표
 - [수소가격] 수소 유통체계 구축을 통한 수소 가격 하락 유도, '40년까지 3,000원/kg 이하

- 국민이 안심하고 신뢰할 수 있는 수소경제 이행 기반 마련
 - 수소 생산·저장·운송·활용 전주기에 걸쳐 안전관리 기준 및 부품·제품의 안전성평가를 강화하고, 안전관리 법 제정 노력
 - 범부처 수소 기술개발 로드맵 수립, 국제표준 선도, 촘촘한 중소·중견기업 생태계 조성, 범부처 협력추진체계 운영 등을 발표

- 전략로드맵은 민간전문가가 참여한 '수소경제 추진위원회(위원장: 산업부 차관)'를 구성하여 의견수렴과 연구·분석 등을 통해 로드맵을 준비
 - ①생산, ②저장·운송, 활용(③수송 및 ④발전) 등 4개 분과, 전문가 100여명으로 구성 추진
 - 미국, 일본, 호주 등 국가별로 수소경제 경쟁이 치열하나, 우리나라는 ①수소차·연료전지 등 수소 활용분야의 세계적 기술력을 이미 확보하고 있고, ②부생수소 등 수소 생산과 산업기반 경험을 보유하고 있으며, ③완비된 LNG망 등을 활용한 원활한 수소 공급 가능성 등의 장점을 가지고 있는 상황임



(그림 5-1) 수소경제활성화 로드맵 비전



(그림 5-2) 수소경제 활성화 로드맵

2. 충남도의 수소경제 활성화 정책

- 충남의 수소 관련 산업 여건은 연료전지 응용산업, 연료전지산업, 수소에너지산업 각각을 별도로 검토해야 함
 - 충남 및 서산시는 각 산업 분야별로 매우 현저한 편차를 갖고 있기 때문에 특정 산업에 편중되어 검토할 경우 객관성을 왜곡할 우려가 있음. 특히 부생수소 생산지라는 특성만을 크게 부각할 경우 건전한 수소 관련 산업 발전방향을 호도할 우려가 있음
 - 각 산업은 지리적으로 편중성이 있으므로 이에 대한 충분한 고려가 필요함. 연료전지 응용산업은 휴대용, 정치형, 수송용 별로 차이는 있으나 그 소비지, 생산지가 각각 다르며, 수소에너지산업과 연료전지산업은 그 산업의 특성상 특정 지역에 편중하여 입지하는 경향이 강함

□ 충남의 연료전지 응용산업 여건

- 충남은 에너지매체(energy carrier)인 이차전지, 연료전지의 기반을 모두 갖추고 있어서 미래 신성장동력 확보에 유리한 조건을 보유하고 있음
 - 연료전지는 현대제철(구 현대하이스코) 등 현대자동차 연료전기차 개발에 참여한 업체가 다수 포진하고 있음
 - 이차전지는 LG화학, 삼성SDI, SK이노베이션, 코캠 등 주요 이차전지제조업체 중 3곳이 충남에 소재하고 있으며, 2015년 출하량 기준 전국의 절반을 넘고 있음
 - 이차전지, 연료전지는 상호보완성을 갖고 미래 에너지산업의 중요한 매체로서 그 역할과 지위가 높아질 것으로 예상됨
- 휴대용, 정치형, 수송용 등 연료전지의 응용 분야 중 현재 충남은 수송용 분야와 정치형 중 발전용 분야에서 모두 강점을 갖고 있으나 그 구체적 함의는 상이함
 - 수송용 분야는 충남이 전통 자동차부품산업이 전국 3위 비중을 차지하고 있으며, 최근 수소연료전지자동차 부품실용화 기반사업 조성 사업을 추진하는 등 일정한 선발우위를 갖고 있음.
 - ※ 2018년 12월 충남의 내포지역은 국가균형발전위원회로부터 수소에너지를 중심으로 하는 국가혁신클러스터로 지정받았음

- 발전용은 충남에 화력발전소가 다수 입지하여 발전용 연료전지의 잠재수요가 많다는 것을 의미하는데, 현재 4곳에는 국내 화력발전소 53기의 약 절반인 26기(전체 발전량의 47.2%)가 밀집해 있음



[그림 5-3] 충남 소재 화력발전소 위치

자료: 동아일보(2016.6.14)

- [차량용 연료전지] 현재 승용차와 버스를 중심으로 시장이 형성되고 있으며, 현대자동차와 그 협력업체가 주도하고 있음
 - 현대자동차는 2014년부터 수소연료전기차 SUV(투싼, 넥소 등)를 상용화했으며, 국내 판매대수가 아직 연 간 천대 규모를 넘지 못하고 있음
 - 현대차의 수소연료전기차는 울산공장에서 양산할 것으로 알려져 있으며, 수소버스는 전주공장에서 생산될 것으로 예상됨
 - ※ 최근 연료전지시스템을 현대모비스가 충주 공장에서 핵심부품을 생산 및 조립할 것으로 알려져 있음
 - 충남은 연료전지차 개발에 현대제철 등 20여개 업체가 참여했으나, 연료전지차 가치사슬 상 충남의 지위가 두드러지지 않고 있음
- [선박용 연료전지] 우리나라에서 선박용 연료전지는 아직 상용화단계에 이르지 못한 것으로 평가됨

- 선박용 연료전지 개발 및 실증사업이 지난 몇 년간 수행되었으나, 실제 연료전지를 탑재한 선박이 현장에 투입된 바는 없음. 그럼에도 불구하고 해상 오염물질 배출 및 CO2 배출 기준이 갈수록 엄격해지고 있어서 친환경선박의 수요가 증가할 것으로 예상
 - 제3차전국항만기본계획수정계획(2016-2020)에는 평택·당진항에 선박수리단지를 건립하는 계획이 올라가 있음. 이 계획은 충남에 조선 관련 유일한 국가계획임
 - ※ 조선업은 크게 신조, 수리, 개조 등 분야가 있으며, 평택·당진항의 선박수리는 수리 분야의 계획임
 - 충남의 선박제조업은 규모가 작고 업체가 영세하며 대부분 어선, 관광선 등 소형선박 건조에 집중되어 있음. 따라서 소형 선박 위주로 연료전지 선박을 보급하는 것이 현실적이며, 대형선박의 경우 당진시의 수리조선을 노후선박의 엔진교체 수요와 연결하여 선박개조로 특화하면 연료전지를 매개로 조선업에 진출할 수 있는 길이 확보됨
- [항공용 연료전지] 항공기에 연료전지를 탑재하는 노력은 시도되고 있으나, 국가 차원보다는 기업차원에서 수행되고 있으며, 현재 드론에 연료전지를 탑재하는 움직임이 활발하게 벌어지고 있음
 - 충남에는 태안, 서산 등지에 항공레저를 즐길 수 있는 기반이 구축되어 있음. 특히 한서대를 중심으로 항공레저 전문 인력을 배출하고 있음
 - 레저용 항공기, 경비행기 제조 등 산업이 서산, 천안에 입지하고 있는 바, 이를 기반으로 항공기에 연료전지를 장착하여 비행하는 것이 가능성 있음
 - 한편, 배터리 드론의 체공시간 제약(20분 정도)을 극복하는 방편으로 연료전지 드론을 개발하는 움직임이 있으므로 드론 산업에서 연료전지 수요가 증가할 것으로 예상
 - 충남은 『수소연료전지자동차 부품실용화 · 산업기반 육성 사업』(2017-2021) 수행 및 연료전지차, 수소버스 보급계획은 연료전지 응용산업의 활성화에 기여할 것으로 기대됨
 - 『수소연료전지자동차 부품실용화 · 산업기반 육성 사업』(2017-2021)은 충남이 확보한 국책사업으로 현재 충남TP 자동차센터에서 수행하고 있음. 이 사업을 통해 충남 지역에 수소연료전지자동차 부품업체들의 네트워크 형성이 기대되고 있음
 - 한편 충남은 2030년 비전에서 2030년에 연료전지차 10만대, 수소충전소 100기를 목표로 내걸고 있음. 2022년에는 연료전지차 1200대, 수소충전소 20기를 목표로 하고 있음

□ 충남 수소에너지산업 여건

- 우리나라에서 수소를 생산하는 방식은 크게 개질, 부생수소, 수전해 등이 있는데 지역적 편중도는 다름
 - 개질이나 수전해는 천연가스(물)와 에너지가 이용가능지역이면 어디서든지 가능하나, 부생수소는 기존 석유화학이나 제철 공정의 특성상 생성되는 것으로 특정지역 편중도 심함
 - 부생 수소의 생산은 그 특성상 특정지역에 집중되어 있음
 - 부생수소는 대부분 석유화학이나 제철 공정에서 발생하는 것인데, 전국적으로 울산, 여수, 서산·당진에 집중되어 있음
 - 서산, 당진은 전국에서 부생수소 생산량이 3위를 기록하고 있음
 - 부생수소는 대부분 자체 소비하며(90%), 일부만이 가스제조사에 판매(10%)
- ※ 제철소 부생수소는 저(低)순도로 주로 제철공정에서 활용

구 분	합계	울산	당진,대산	여수	기타
생산량(천㎥/hr)*	2,443	1,198	269	841	135
만톤/년*	192	94	21	66	11

〔표 5-1〕 국내 부생수소 총생산량(신소재 경제신문, 2018)

* 24시간/일, 년 365일 가동 기준 적용

지 역	업체명	생산능력(㎥/hr)	만톤/년*
전 국		311,400	24.5
울산	덕양, SPG케미칼, SDG	127,800	10.1
대산	덕양, SPG케미칼, 린데, 창신화학	27,200	2.1
당진	SPG케미칼	1,500	0.1
여수	덕양, SPG케미칼, 에어리퀴드	143,500	11.3
군산	덕양	5,000	0.4
안산	SPG케미칼	2,000	0.16
기흥	린데	1,200	0.09
파주	대성산업가스	2,000	0.16
포항	린데	1,200	0.09

〔표 5-2〕 전국 주요 지역 수소생산량

출처: 충남수소산업 현황(2018), * 24시간/일, 년 365일 가동 기준 적용

- 도내 수소를 생산·유통하는 업체는 4곳으로 주로 대산, 당진에 입지하고 있음

– 대산에 3곳, 당진에 1곳임

연번	업체명	주 소	생산능력 (m ³ /h)
	계		28,700
1	(주)덕양(서산공장)	서산시 대산읍 독곶1로 41	12,000
2	(주)SPG케미칼(대산공장)	서산시 대산읍 독곶2로 88	10,000
3	(주)SPG케미칼(당진공장)	당진시 송산면 막부리길 201-18	1,500
4	창신화학(대산공장)	서산시 대산읍 독곶1로 52-3	5,200

〔표 5-3〕 도내 주요 수소가스 생산·유통업체

출처: 충남수소산업현황(2018)

- 충남 석유화학단지 및 제철소에서 부생수소가 생산되는 것은 수소에너지산업 및 연료전지산업 발전의 초기단계에서 매우 중요한 선발우위로 작용함
 - 전국에서 충남의 대산, 당진은 3대 부생수소 공급기지로서 위상을 가지고 있음. 특히 수도권에 인접한 지역으로서 전국적으로 중요한 수소생산기지로 부상할 가능성 있음
 - 수소 생산이 보편화되지 않았으며 수소원가가 비싼 현 상황에서 부생수소공급기지로서 충남의 지위는 연료전지산업 발전의 유리한 여건을 조성하고 있음

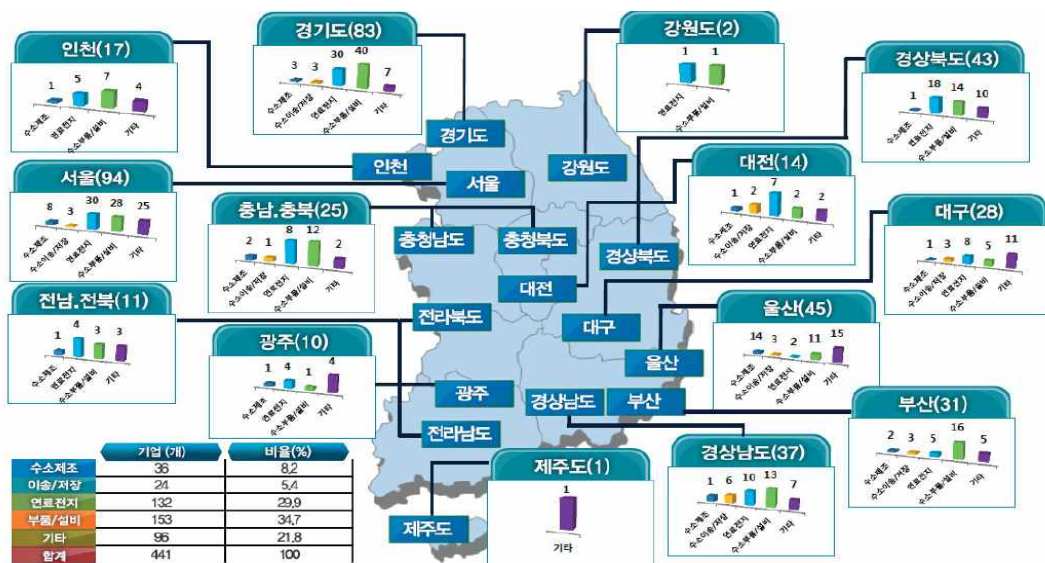
□ 충남 연료전지산업 여건

- 충남은 연료전지생산업체의 집적도가 낮은 것으로 평가됨
 - 연료전지의 소재, 셀, 스택, 시스템 등에 들어가는 소재 및 부품 생산 또는 조립·가공하는 업체를 기준으로 볼 때 충남에는 5개 업체가 입지하고 있는 것으로 파악됨
 - 전국 분포를 보면 연료전지생산업체는 주로 수도권과 동남권에 집중 입주하고 있으며, 충청권에는 입지·집적이 이루어지지 않고 있음(정군우·설홍수, 2018)

연번	업체명	주소	비고
1	파워셀코리아(주)	보령시 신설6길 22	수냉식 PEMFC
2	(주)호라이즌퓨얼셀코리아		공랭식 PEMFC
3	(주)케이세라셀	금산군 복수면 용진리 257-12	SOFC
4	SAC(주)	아산시 인주면 인주산단로 123-81	MgH2
5	보림(주)	천안시 서북구 성환읍 연암로 333-24	MCFC

〔표 5-4〕 도내 연료전지기업 현황

출처: 충남수소산업현황(2018)



〔그림 5-4〕 국내 수소 관련 기업 분포 현황(2016년)

자료: 정군우 · 설홍수(2018)

- 연료전지산업에서 주요 기업들도 충남 이외 지역에 입지하고 있음
 - 정치형의 대표적 응용분야인 발전용 셀 제조공장은 경북 포항(포스코에너지), 전북 익산(두산퓨얼셀), 대전시(에스퓨얼셀)에 입지하고 있음
 - 수송용의 경우 충주에 공동부품을 양산하는 제1공장과 연료전지시스템을 양산하는 제2공장이 입지하거나 입지할 예정

응용분야	기업	주요 제품	생산기지 소재지	비고
정치형 (발전용)	포스코에너지	셀, 스택	경북 포항시(2015)	
	두산퓨얼셀	셀	전북 익산시(2017)	미국 코넥티컷
	에스퓨얼셀	셀, 스택	대전시(2019 예정)	
	솔리드파워	스택	대전시(일정 미상)	이탈리아계 기업
수송용	현대모비스	연료전지시스템	충북 충주시 (2017, 2019 예정)	제1,제2공장

[표 5-5] 국내 주요 연료전지업체 소재지

- 충남은 전반적으로 연료전지산업의 집적도가 낮은 것으로 평가됨
 - 연료전지 소재, 셀, 스택, 시스템 등 관련 기업들의 집적도가 수도권이나 동남권에 비해 현저히 떨어지고 있음
 - 충청권 내부에서 보면 대전이나 청주에 주요 생산업체가 입지하는 경향을 보이고 있는 반면, 충남에는 주요 업체가 입지하지 않은 상황임
 - 이러한 현상은 이차전지 생산업체가 충남과 충북에 집중 입지한 것과 대조를 이루고 있으며, 장기적으로 개선이 필요한 상황임

3. 서산시 수소 관련 산업의 현황

- 서산시 대산석유화학단지는 국내 부생수소 생산량의 11%인 26만 7,000Nm³/hr를 생산하는 수소의 생산기지임
 - 국내 수소 생산량은 연간 186만~190만 톤으로 추정되며, 울산 48%에 이어 충남 대산석유화학단지가 31%를 차지함
 - 산업용 수요를 제외하고 외부에서 사용할 수 있는 부생수소량은 연간 최대 21만 톤으로 추정됨
- 서산시에 세계 최초의 50MW급 수소연료전지 발전소가 세워질 예정임
 - 한국동서발전 · 한화에너지 · 두산 · SK증권 등이 만든 특수목적법인(SPC) 대산그린에너지가

충남 서산에서 세계 최대인 50MW급 수소연료전지 발전소 설립계획으로 2만여 m² 부지에 총 2,550억원을 투자하여 2020년 6월 준공 예정

- 충남 서산시 전력소비량의 5%에 해당하는 연간 40만MWh의 전력을 생산하며, 석유화학 공정의 부생수소를 연료로 사용하며, 발전 규모는 세계 최대임
- 2020년부터 상업생산을 시작해 서산지역 약 17만 가구가 사용할 수 있는 40만MWh의 전기를 생산할 예정

● 서산시의 수소연료전지 발전소는 서산시 수소 관련 산업 발전에 양날의 칼로 작용할 것임

- 수소연료전지 발전소가 건설됨에 따라 지역경제 활성화에 일정한 활력을 불어넣고 관련 기업들이 입지할 가능성이 높아지고 있음
- 한편, 가용 부생수소가 한정되어 있는 상황에서 신규 연료전지발전소에 수요가 발생하면 타 용도에 사용되는 부생수소의 공급량이 줄고 가격이 상승할 것으로 예상

● 서산시는 환경부 ‘수소버스 시범사업’ 대상에 선정됨에 따라 내포의 수소혁신클러스터에서 중요한 역할을 할 것으로 기대됨

- 환경부 수소버스 시범사업은 2019년부터 2년간 전국 6개 도시 시내버스 노선에 수소전기버스 30대를 투입하는 사업으로 이중 서산시는 5대의 수소버스가 운행될 예정임(아산시 4대 투입과 함께 충남은 전국에서 가장 많은 수소버스를 보유하게 되는 광역지자체임)
- 수소차는 차량 내 저장수소와 외부공기만으로 자가 발전하여 주행함으로써 오염물질 없이 물만 배출한다는 점에서 미세먼지 저감 등 대기질 개선효과를 기대할 수 있음

※ 수소전기차 1대는 경유를 연료로 사용하는 SUV차량 2대가 배출하는 미세먼지를, 수소전기버스 1대는 SUV차량 50대가 배출하는 미세먼지를 정화하는 효과가 있음

● 국가균형발전위원회에서 서산의 3개 산업단지를 충남 국가혁신클러스터로 선정하여 정부 정책지원의 강화를 기대할 수 있음

- 충남국가혁신클러스터는 수소에너지를 대표산업으로 ‘수소전기차 및 수소기반산업의 글로벌 클러스터 육성’을 비전으로 함
- 클러스터 지정지역은 서산시 오토밸리일반산업단, 명천자동차전문 농공단지, 성연농공단지 등 3곳

으로 자동차 부품산업이 발전한 곳으로서 향후 수소차 산업과의 시너지 효과가 기대되는 곳임

- 서산시는 클러스터 지정과 함께 친환경 수소차 보급, 충전인프라 구축, 수소버스 시범 운행 등 수소도시 계획을 추진 중임

- 서산시는 수소 관련 산업 중 수소에너지산업 특히 부생수소 생산에서 중요한 지위를 차지하는 반면, 연료전지응용산업이나 연료전지산업에서는 지위가 낮음
 - 대산석유화학단지의 부생수소 생산량은 전국 3위를 기록하고 있으므로 초기 단계에서 수소 관련 산업 육성에 유리한 여건을 제공
 - 반면 발전용, 수송용 등 연료전지응용산업에서는 발전용 수요가 있으나 관련 생산기지로서의 비중은 낮음. 연료전지업체도 서산시뿐 아니라 충남 전역에 입지하는 비중이 상대적으로 낮음
 - 따라서 수소에너지산업의 비중이 크나 연료전지산업 및 응용산업의 비중은 낮은 것이 서산시의 수소 관련 산업의 특징임

4. 서산시 수소 관련 산업의 SWOT 분석

□ 서산시 수소 관련 산업의 강점

- 지역민의 강한 환경개선 욕구
 - 서산시의 주력산업인 석유화학산업은 에너지다소비업종이며 인근 지역에 입지한 화력발전소 또한 온실가스 및 미세먼지의 발생원으로 지목되는 등, 환경오염에 따른 인근 주민들이 적지 않은 고통을 받고 있으며, 환경개선을 통한 삶의질 개선 욕구가 강함
 - 친환경 기술에 대한 욕구와 수용성이 강하여 미래 청정 에너지원으로서 수소에 대한 수용도가 높을 가능성이 큼
- 주요 부생수소 생산기지
 - 대산석유화학단지에서 생성되는 부생수소는 수소 관련 산업 초기 발전단계에서 지역의 수소

관련 산업이 발전하는데 중요한 밑거름으로 작용함. 특히 수소에너지산업 관련 수소의 저장·운반 관련 업체들의 입지를 유인하여 수소 관련 산업 발전의 초기 조건을 조성할 수 있음

- 현재 수소를 생산하는 주요 기업들이 서산시에 입지하고 있으며 충남 일원의 수소충전소에 수소연료를 공급하고 있음
- 단 수소에 대한 시장 수요가 커짐에 따라 부생수소 생산기지로서의 이점이 급격히 소진될 수 있음. 즉 부생수소 이외 천연가스 개질, 수전해 등은 천연가스 저장유통 허브지역이나 재생에너지 대량 생산지가 더욱 각광을 받을 가능성이 있음

● 드론, 경비행기 등 산업 성장 잠재력 보유

- 서산시에는 해미공군비행장이 입지하고 있으며 전투기 정비기능을 갖고 있음. 이에 따라 연료전지의 미래 응용분야 중 하나인 항공산업과의 연계가 가능성이 있음
- 한편 서산시, 태안군 일원은 항공레저산업이 발달하여 경비행기 수요가 일정하게 존재하며, 이러한 경비행기 수요와 수소에너지의 결합이 가능할 가능성이 있음
- 최근에는 이차전지 장착 드론의 체공시간 한계로 인해 수소 드론의 개발 및 상용화가 진행중 이므로 서산시가 수소 공급의 우위를 발판으로 현재 시장 초기 단계인 수소 드론 시장에 진입하여 성공할 가능성이 있음

□ 서산시 수소 관련 산업의 약점

● 연료전지산업 및 연료전지응용산업 생산 기반 취약

- 서산시에는 연료전지의 핵심부품(연료전지시스템을 구성하는 스택, MBOP, EBOP)을 생산하는 업체나 가공조립 업체가 없기 때문에 연료전지산업 기반은 취약한 상황임
- 연료전지응용산업의 대표격인 수송용 분야(자동차산업), 정지형 분야(발전산업)의 생산업체들 중 서산시 또는 서산시 인근에 입지한 업체들이 많지 않음. 특히 선도 기업들은 대부분 동남권이나 수도권에 입지해 있는 상황임

※ 서산시에 자동차부품산업이 밀집해 있으나 연료전지시스템, 인버터, 컨버터, 모터, 감속기 등 동력장치 및 구동장치에 해당하는 핵심부품을 생산하는 것이 아님. 현대파워텍과 현대다이모스(최근 합병을 통해 현대트랜시스로 회사명 바꿈)가 생산하는 변속기는 내연기관 엔진기반 기술임

※ 발전설비 생산을 선도하는 대기업인 두산중공업(두산인프라코어 포함), 포스코에너지, 효성중공업, 한전KPS 등은 동남권이나 수도권에 입지해 있음

● 수소 관련 산업 R&D 미약

- 서산시의 주요 생산거점은 본사 또는 R&D센터와 분리되어 생산 공장만 입지한 경우가 적지 않음. 가령 주요 자동차부품업체는 연구센터를 수도권에 두고 있으며, 대산석유화학단지 입주 기업 중 대기업들도 수도권 또는 대전에 연구센터를 두고 있는 경우가 많음

회사명	공장	본사	R&D센터	비고
현대파워텍	충남 서산	충남 서산	경기 화성	최근 합병
현대다이모스	충남 서산	충남 서산	경기 화성	
현대모비스	충남 서산	서울 강남	경기 의왕	
현대위아	충남 서산	경남 창원	경기 의왕, 경남 창원	
현대오일뱅크	충남 서산	충남 서산	경기 용인	
한화토탈	충남 서산	충남 서산	충남 서산	
롯데케미칼	충남 서산	서울 송파	대전 유성	
LG화학	충남 서산	서울 강서	대전, 경기 과천	
KCC	충남 서산	서울 서초	경기 용인	

[표 5-6] 서산시 소재 대기업 R&D센터 입지 현황

- 수소 관련 산업 R&D도 주요 기업의 본사나 R&D센터가 수도권이나 동남권에 밀집해 있음. 공공 R&D센터는 충남에 자동차부품연구원, 생산기술연구원 등 일부가 있으나 전국적 비중이 낮은 상황임(충남경제비전2030)

● 재생에너지 양산 빈약

- 서산시의 재생에너지의 잠재량은 현재 주로 태양광, 바이오매스, 폐기물 중심이며, 도내 시군 중 상위권에 속함. 태양광은 도내 2위, 바이오매스 중 농산물 바이오매스는 3위임(충청남도 제5차 지역에너지계획)
- 수소에너지산업에 투입될 재생에너지를 확보하기 위해서 재생에너지 발굴 및 보급이 더욱 필요한 상황이며, 서산시의 경우 태양에너지, 풍력, 바이오매스를 중심으로 재생에너지 순환체계를 구축해야 할 상황임. 그러나 태양광 발전을 둘러싼 지역민 갈등으로 인해 발굴 및 확대가 용이하지 않음

※ 특히 충남의 해상풍력산업의 잠재력이 크기 때문에 서산시는 태안군 등과 협력하여 광역적 에너지순환체계를 구축하는 것이 필요함

□ 서산시 수소 관련 산업의 기회

● 정부 정책 드라이브

- 최근 정부는 수소경제 활성화를 핵심 국정 방향으로 선포하고 관련 로드맵을 발표, 수소경제 활성화를 위한 다양한 산업에 대한 지원 가속화 예상
- 수송용의 경우 차량 이외에 선박에 대해서도 강한 정책 지원이 있을 것으로 예상되며, 재생에너지의 발굴 및 보급 확대도 커다란 탄력을 받을 것으로 예상
- 특히 수송용 분야에 대해 차량 가격, 충전소, 수소 가격 등 전방위적 지원이 있을 예정이므로 서산시는 이를 활용하여 선제적으로 수소경제 활성화를 지역경제 발전과 연계할 계획을 수립하고 국가지원을 받는 것이 긴급

● 수소에너지 및 연료전지에 대한 시장 수요 확대

- 연료전지응용산업의 활성화 및 정책적 육성으로 인해 상당기간 수소에너지 및 연료전지에 대한 시장 수요가 증대할 것으로 예상되고 있음. 특히 단기적으로 수소차, 수소버스, 수소트럭 등 차량과 수소충전소 등 인프라부분에 대한 정부의 집중 투자 및 지원이 시장 수요 확대에 이어질 가능성 큼
- 이에 따라 수소에너지산업, 연료전지산업, 연료전지응용산업이 전방위적으로 성장할 것이며 이는 서산시 수소 관련 산업의 발전에 유리한 조건을 조성할 것으로 기대됨
- 한편, 대산항을 보유한 서산시로서는 울산시와 마찬가지로 해외 수소 수입에 유리한 입지적 여건과 기반을 갖추고 있으므로 이웃 국가인 중국, 일본의 수소 및 연료전지에 대한 수요확대도 긍정적 방향으로 작용할 것임

● 충남의 정책적 선발 이익

- 충남은 지난 2016년에 『수소연료전지차 부품 실증 및 실용화 사업』을 국책사업으로 지원받고 최근에는 수소에너지를 중심으로 하는 국가혁신클러스터로 지정받는 등 수소 관련 산업 분야에서 일정한 선발이익을 누리고 있음
- 또한 파리협약 준수 필요, 미세먼지 문제 이슈화 등으로 인해 화력발전의 청정화 문제가 강력하게

대두되는 등 정치형(발전용) 분야에서 연료전지산업의 발전을 위한 유리한 여건이 조성되고 있음

□ 서산시 수소 관련 산업의 위협

● 지역 간 경쟁 심화

- 국내적으로 울산시를 비롯하여 전국의 모든 대도시들이 수소 관련 산업을 지역경제활성화와 연계하려는 계획을 가지고 있음. 따라서 당초 충남이 누렸던 정책적 선발이익은 시간이 흐름에 따라 희석될 가능성이 있음
- 산업발전 단계상 현재 수소 관련 산업의 도입기이기 때문에 R&D 등 요인이 매우 중요한 시기임에 비해 서산시나 인근 지역은 R&D 기능이 미약하므로 이러한 지역 간 경쟁에서 유리한 고지를 점하기 어려운 상황임
- 따라서 대외적 이미지 제고와 수소 관련 산업에서 산업적 위상을 높이기 위한 중대한 도약을 정책화하여 이를 수행할 필요가 있음

※ 이러한 중대한 도약을 이루기 위해서는 서산시 단독으로 계획을 구상하는 것은 비현실적이며 최소한 권역 단위(충남의 몇 개 시군이 연합하는 단위 등)에서 추진하는 것이 바람직

● 수소가 기술경쟁에서 도태될 가능성

- 친환경 에너지를 개발하고 화석연료 사용을 줄여나가는 것은 이제 회피할 수 없는 추세가 되었으나, 친환경 에너지원의 핵심이 무엇인지에 대해서는 많은 논쟁이 있음
- 일차 에너지원에서는 화석연료 대신 재생에너지를 사용해야 한다는 방향은 의문의 여지가 없으나 그 구체적 이행경로 선택과 속도에 대해서는 아직 일치된 견해는 없음. 또한 이차 에너지원인 전기와 수소의 경쟁이 진행 중이며 상호 경쟁과 연계를 통해 미래의 이차에너지원 구조가 결정될 것임. 특히 이차에너지원을 둘러싼 경쟁은 에너지저장장치로서 이차전지와 수소 에너지 간 기술 및 산업경쟁이며 이에 대해서도 현재 일치된 견해는 없음. 두 기술 사이의 장단점과 나라나 지역의 사정에 따라서 상이한 결과를 가져올 수 있음

● 일본, 중국의 강세와 경쟁

- 국제 수소경제 구축 노력에서 우리나라는 일본에 뒤져 있으며, 중국은 최근 대규모 자금을 투

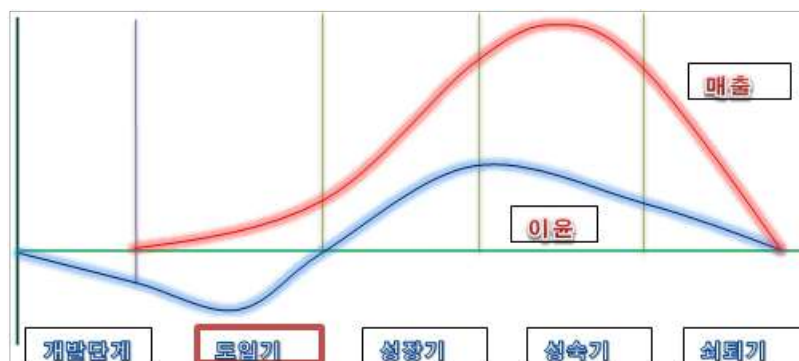
자하여 수소 관련 산업에서 새로운 강자로 등극할 가능성이 큼. 이에 따라 수소 관련 산업이 마이 이차전지산업이 겪었던 어려움을 그대로 겪을 우려가 커지고 있음

- 대산항을 보유하고 있는 서산시로서는 각국의 산업추이를 면밀히 파악하여 수소 관련 산업에서 각국의 비교우위를 포착하고 이를 결합하여 새로운 개념의 제품을 기획하고 생산 또는 조립할 수 있는 역량을 기르는 것이 긴요함. 이를 통해 새로운 제품의 조립가공활동을 대산항 주위로 유치할 수 있도록 해야 함

SWOT분석		S:	W:
		<ul style="list-style-type: none"> - 지역민의 강한 환경개선 욕구 - 부생수소 생산기지 - 드론, 경비행기 산업 성장 잠재력 	<ul style="list-style-type: none"> - 연료전지 및 응용 산업 기반 취약 - 수소 관련 산업 R&D 기능 미약 - 재생에너지 양산 미약
O:	<ul style="list-style-type: none"> - 정부 정책 드라이브 - 수소연료전지 수요 확대 - 충남의 정책 선발 이익 	SO: <ul style="list-style-type: none"> - 수소 관련 산업 적극 육성 - 신규시장 개척 	WO: <ul style="list-style-type: none"> - 수소 관련 산업 생태계 구축 - 지식기반산업 육성
T:	<ul style="list-style-type: none"> - 지역 간 경쟁 심화 - 수소의 기술경쟁 도태 - 일본, 중국의 강세 	ST: <ul style="list-style-type: none"> - 부생수소 등 수소 물류 거점화 - 주력산업의 친환경화 	WT: <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 믹스에 주력 - 수소에너지산업에 특화

5. 서산시 수소 관련 산업의 전략적 선택

- SWOT분석을 통해 SO전략, ST전략, WO전략, WT전략 등 4가지 전략방향을 도출할 수 있음
 - SO전략은 성장전략으로 강점과 기회요인을 결합하여 잠재력을 극대화하는 전략임
 - ST전략은 안정화 전략으로 기존 비교우위를 공고화하면서 위협요인을 최소화하는 전략임
 - WO전략은 역량강화 전략으로 기회요인을 적절히 활용하면서 약점을 보완하는 전략임
 - WT전략은 생존전략으로서 약점을 보완하고 위협의 충격을 최소화하는 전략임
- 서산시의 전략적 선택을 결정하기 위해 수소 관련 산업의 발전단계에 대한 검토가 필요함
 - 수소 관련 산업은 사실상 신규시장이며 산업발전단계상 현재는 도입기에 해당한다고 볼 수 있음. 따라서 기술 및 시장의 불확실성이 상존하는 단계에 있음
 - 최근 정부의 정책은 이 단계를 최대한 압축적으로 통과하자는 것이며 이에 따라 많은 정책지원이 예상되나, 시장의 본격적인 성장기에 접어드는 것은 최소한 2025~2030년으로 예상됨
 - 따라서 전면적인 시장 성장기가 아직 오직 않은 상황에서 수소경제 활성화에 모든 노력을 기울이는 것은 현실적으로 불확실성이 큼



〔그림 5-5〕 수송용 수소연료전지산업의 발전 단계

자료: 홍원표(2016)

- 현재 친환경 경제 구축 관련하여 수소에너지는 이차전지와 기술적 경쟁을 벌이고 있는 상황으로, 그 경쟁은 이제 시작했다고 봐야 함

- 수송용 차량의 경우 현재 친환경차량 시장을 선도하고 있는 것은 수소연료전지차라기보다는 전기차이며, 그 스펙트럼은 하이브리드, 전기차 등 다양함
- 일반적으로 고출력이 필요한 차량의 경우에는 연료전지차가 전기차보다 경쟁력이 있다고 알려져 있으나, 현재 수소버스, 수소트럭에 대한 제품 개발이 성숙한 상황은 아님
- 중장기적으로 수소차와 전기차가 공존하는 자동차시장이 형성될 것으로 예상되는 바, 수소차가 수송용 차량 시장을 재패할 것이라는 기대는 시기상조임

□ SWOT 분석에 따른 전략 방향

- 서산시는 역량강화 전략인 WO전략을 전략방향으로 설정하는 것이 현실적임
 - 수소 관련 산업이 현재 초기단계인 도입기에 있으며 서산시 수소 관련 산업 기반이 취약한 상황을 고려하면 전면적인 성장 전략보다는 역량을 강화하는 전략이 현실적
 - 역량강화 전략의 핵심은 장점을 강화하면서도 이를 관련 산업생태계를 갖추는 데 기여할 수 있도록 방향을 설정하는 것임
- 역량강화는 에너지순환체계, 기업생태계, 지역의 수용성 등에서 생태계를 구축하는 것을 핵심으로 함
 - 에너지순환체계란 재생에너지와 수소에너지 간 순환체계의 기반을 조성하는 것으로 재생에너지의 적극 발굴과 재생에너지를 이용한 수소생산체계를 확립하는 것으로 의미
 - 기업생태계란 생산과 연구개발 및 경영이 상호 균형 있게 발전하도록 기업지원 및 신규시장 개척을 지원하는 것을 의미
 - 지역 수용성은 지역민들이 수소에너지에 대한 거부감을 해소하고 수소 관련 산업이 지역의 미래 발전을 위해 중요한 요인이라는 것을 인식할 수 있도록 하는 것을 의미

06

서산시 수소 관련 산업 육성 방안

- 이상의 논의를 바탕으로 서산시의 수소 관련 산업 활성화 방안을 크게 다음 4가지로 제시하고자 함
 - 첫째, 부생수소 생산, 항만 보유 등 장점을 극대화하여 서산시를 우리나라 수소에너지 3대 공급허브의 하나로 정립
 - 둘째, 대산석유화학단지의 산업적 이용을 포함하여 재생에너지와 수소에너지 간 순환체계 구축
 - 셋째, 지게차, 조선, 항공 등 연료전지 응용산업으로 진출할 기반 마련
 - 넷째, 장기적인 권역 차원의 로드맵을 수립하고 추진

1. 국내 3대 수소에너지 공급허브 지위 정립

- 서산시는 부생수소 생산과 항만 보유라는 특유의 이점을 가지고 있음
 - 대산석유화학단지의 부생수소는 울산, 여수와 더불어 수소의 친환경성 논란으로부터 자유로운 수소에너지로서 이를 이용하는 것은 국가적으로도 바람직한 방향임
 - 서산시는 대산항을 보유하고 있으므로 향후 외국으로부터 수소를 수입할 때 유리한 입지 여건을 갖고 있음. 다만 천연가스를 수입할 경우 인근의 당진이나 보령으로 갈 가능성이 있음
- 가스파이프라인 등 인프라는 초기 단계에서 수소에너지 이용의 활성화 큰 도움으로 작용
 - 대산석유화학단지에 부설되어 있는 가스파이프라인 등 인프라는 수소의 저장, 운반을 용이하게 하여 초기 단계에서 수소에너지 이용 활성화에 커다란 도움으로 작용

- 수소 생산지점에서 100km 이내인 경우 파이프라인을 통해 수소를 운반하는 것이 튜브트레이일로 운반하는 것보다 경제성이 높고 안전하기 때문에 가스파이프라인의 활용도가 매우 큰 상황임
- 장기적으로 중국과의 수소에너지 교역에 있어서도 대산항이 일정한 역할을 할 수 있을 것으로 기대함
 - 수소경제가 활성화되는 경우 수소에너지의 국제교역네트워크 혹은 공급망의 건설이 의제를 등장할 가능성이 있으며, 이 때 항만이 주요한 교역거점으로 활용될 가능성이 큼
 - 대산항은 중국과 가장 가까운 거리에 있는 항만이므로 향후 수소에너지를 둘러싼 동아시아 혹은 환황해 네트워크가 가시화할 경우 대산항의 유리한 입지는 더욱 중요하게 됨

2. 재생에너지와 수소에너지의 순환체계 구축

- 그린수소를 생산하여 사용하는 것이 수소 관련 산업의 지속가능성을 담보하는 전제임
 - 천연가스를 개질하여 수소를 생산하는 것은 사회적으로 정당화되기 어려우며 이산화탄소 배출의 지리적 이동만을 초래할 가능성이 큼. 이러한 상황에서 수소생산시설은 회피시설이자 오염배출시설로 전락할 가능성이 있음
 - 서산시가 수소에너지를 통해 지역 환경의 질을 개선하고 지역경제를 활성화하기 위해서는 반드시 그린수소를 생산할 수 있는 기반을 만들어야 함. 그 해답은 대량의 재생에너지를 확보하고 이를 통해 얻은 전기에너지를 이용하여 수전해 등을 통해 그린수소를 생산하는 것임
- 현재 상황에서 확보 가능한 재생에너지원은 태양에너지, 풍력, 바이오매스 등이 유력하며 이에 대한 발굴 및 활용에 심혈을 기울여야 함
 - 서산시는 수평면 전일사량이 크므로 태양에너지를 통한 재생에너지 확보에 유리한 여건을 갖고 있으므로 태양에너지원을 활용하는 것을 기본으로 해야 함. 한편 바이오매스 생산량도 많기 때문에 이를 통해 재생에너지를 확보하는 것도 중요함
 - 한편, 충남 해상풍력의 잠재력이 크기 때문에 자체의 노력뿐 아니라 태안군과 협력하여 해상 풍력을 보급하고 재생에너지원을 대량으로 확보하는 것이 관건적임

- 중장기적으로 대산석유화학단지에서 생산 공정을 재생에너지-수소에너지 간 순환체계와 연계하는 방안을 모색할 필요가 있음
 - 북네덜란드 사례에서 보듯이, 가스화학단지에서의 에너지 사용, 연료 투입 및 화학물 생산을 수소에너지 생산 및 이용 공정과 결합하여 화학단지 자체가 재생에너지-수소에너지 간 순환 체계에 편입하려는 시도가 있음
 - 이는 수소에너지의 보급에 머무르지 않고 산업적으로 수소에너지 순환체계로 편입하는 시도로서 대산석유화학단지의 기업들과 함께 유사한 방안을 모색할 필요가 있음

3. 연료전지 응용산업으로의 진출 기반 마련

- 연료전지 응용산업은 다양한 산업군이 포함되어 있으며 현재 산업부문별 상용화정도 및 서산시의 역량을 고려하여 연료전지 응용산업으로의 진출 방안을 모색해야 함
- 현재 상업적으로 경쟁력있는 연료전지 응용산업은 연료전지 지게차(실내용)와 수소 드론이 꼽히고 있음
 - 연료전지 지게차는 CO₂, NO_x, SO_x 등을 배출해서는 안되는 실내용 지게차에서 상업적 경쟁력을 갖고 있는 것으로 알려져 있음. 미국과 유럽에서는 이미 상용화되어 사용되고 있으며 시장 규모 또한 커지고 있음
 - 수소 드론은 연료전지를 장착한 드론으로 배터리를 장착한 드론의 체공시간 한계로 인해 장시간 체공이 가능한 수소를 연료로 하는 드론이 개발 중이며 상용화를 앞두고 있음
 - 이 두 분야는 현재 시장상황에서도 경쟁력을 갖추고 있으므로 서산시는 이러한 산업의 육성을 추진할 필요가 있음
- 한편 향후 조선, 항공용 연료전지 응용산업을 염두에 두고 초반의 시장을 형성하여 서산시에 관련기업의 입지와 산업생태계 구축을 꾀할 필요가 있음
 - 현재 선박에 연료전지를 구동장치로 장착하는 것은 아직 본격적인 상용화는 안되어 있으나

최근 활발한 연구와 실증이 국내외에서 전개되고 있음을 감안하면, 연료전지 장착 소형선박의 상용화가 곧 실현될 것으로 예상

- 서산시, 당진시, 태안군 등이 추진하는 마리나 등에 연료전지를 장착한 소형 요트를 개발하고 실증하는 사업을 통해 선박용 연료전지산업의 초기 시장을 형성할 필요가 있음
- 한편 수소 드론을 시작으로 향후 경비행기, 헬리콥터 등 소형비행기에 연료전지를 장착하는 것도 예상할 수 있으므로 단기적으로 수소 드론을 진입점으로 항공기산업에 진입하고 향후 외연을 확대하는 방안이 필요

- 장기적으로 중대형 항공기, 선박에 연료전지를 장착하는 담대한 구상을 마련할 필요가 있음

- 해미공항의 공군기지에서 항공기 MRO사업의 수요가 있고 서산, 태안 인근에 항공레저 수요에 따른 소형 경비행기 수요가 있음을 감안하여 단기적으로는 수소드론산업을 통해 항공용 연료전지산업에 진입하고 장기적으로는 중대형 항공기용 연료전지산업을 육성하는 것을 고려해야 함
- 서산시, 당진시, 태안군 등이 추진하는 마리나 등에 연료전지를 장착한 소형 요트를 개발하고 실증하는 사업을 통해 선박용 연료전지산업의 초기 시장을 형성할 필요가 있으며, 장기적으로는 당진시 수리조선계획과 연계하여 기존 선박의 동력장치를 연료전지로 개조하는 방식을 통해 중대형 선박용 연료전지산업에 진출하는 것을 모색할 필요가 있음

4. 권역 차원의 중장기 수소경제 로드맵 수립

- 서산시와 인근 시군의 상황을 고려할 때 권역 차원에서 로드맵을 수립하는 것이 바람직

- 수소에너지산업에서 수소 생산 관련 부생수소 이외에 천연가스 개질을 염두에 둘 경우 액화천연가스(LNG)비축기지가 들어설 예정인 당진시 내지 보령시와의 협력이 서산시에겐 필요함
- 해상풍력을 이용한 대량의 재생에너지 확보를 위해서는 태안군과의 협력이 불가결함
- 마리나항을 겨냥한 연료전지 요트, 항공레저를 겨냥한 수소 드론, 연료전지 경비행기 등도 당진시, 태안군과의 협력이 유리함
- 또한 수소버스, 수소전기차 등의 수요지는 결국 대도시 위주이므로 천안, 아산지역을

포함하여 권역을 설정하는 것이 수소경제 로드맵의 실효성을 확보하는 데 필수적임

- 서산시는 수소의 생산, 이용, 산업을 아우르는 ‘수소경제 로드맵’ 작성이 필요
 - 울산시의 로드맵은 산업적 측면이 강하게 투영된 로드맵으로서 산업적 이용, 신재생 에너지와 수소에너지의 순환체계 등에 대한 고려는 미약한 것이 사실임
 - 북네덜란드 사례는 가장 진보된 수소경제 로드맵으로서 산업 공정까지 포괄하는 야심찬 계획이며, 아이치현 로드맵은 울산시와 북네덜란드의 중간 성격으로서 현실성 있는 로드맵임. 서산시는 아이치현의 로드맵을 기준으로 북네덜란드의 모델을 지향하는 수준에서 중장기 로드맵을 작성하는 것이 필요
 - 로드맵의 실효성을 높이기 위해서는 다음 두 가지가 필요함. 하나는 계획수립과정에서 지역의 거버넌스를 구축해서 충분한 시간을 갖고 협의조정을 거칠 것, 다른 하나는 단계별 목표를 분명히 설정하여 계획의 실효성을 높일 것

- 충남도 및 정부의 지원을 적극 활용하여 로드맵을 수립하는 것이 바람직함
 - 정부가 강력한 지원정책을 발표하고 있는 바 이는 지역 차원의 설득력 있는 계획은 국비지원을 신청하여 정부 지원을 확보할 가능성이 높음. 충남도도 역시 수소 관련 산업에 대한 관심도가 크기 때문에 협력하여 지원을 얻는 것이 바람직
 - 정부나 충남도의 지원을 확보하기 위해서는 내포 권역 수준의 이미지 구축도 매우 중요함. 국가혁신클러스터 지정이 된 상황이므로 이를 발판으로 다양하고 창의적인 이미지 메이킹으로 인지도 및 호감도를 높이는 이벤트 개발도 필요

참고 문헌

- 관계부처 합동, 2018, 조선 산업 활력 제고 방안(2018.11.22), 관계부처 합동
- 지목현, 2014, 연료전지 성장은 이미 시작되었다, 오버웨이트(2014. 3. 24), 메리츠증권증권 리서치센터
- 정군우·설홍수, 2018, 대구광역시 수소산업 육성 방안, 대구경북연구원
- 홍원표, 2016, 수소경제사회를 위한 주요 외국 사례, 충남수소에너지포럼(2016.7.19), 충청남도
- 홍원표·강수현, 2018, '국내외 사례연구를 통한 수소버스 활성화 방안', 제3회수소에너지국제포럼(2018.11.2.), 충청남도
- 산업통상자원부, 2019, 수소경제 활성화 로드맵 발표 보도자료
- 울산테크노파크, 2018, 울산수소산업동향 및 수소충전소 구축계획, 울산테크노파크
- 충남연구원, 2016, 충남경제비전2030, 충남도청
- 충청남도, 2018, 충남수소산업현황, 충남도청(내부자료)
- 충청남도, 2016, 충청남도 제5차 지역에너지계획, 충청남도
- Ad van Wijk, 2017, Noordelijke, Innovation Board, The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands, Innovation Board
- DOE, 2017, Fuel Cell Technologies Market Report 2016, U.S. DOE
- Herbert, Thorsten, 2018, Deployment of Hydrogen and Fuel Cell Technology in Germany, EHEC(2018.3.15.)
- E4TECH, 2017, The Fuel Cell Industry Review 2016, E\$TECH
- 4thenergywave, The Fuel Cell and Hydrogen Annual Review, 2017, 4thenergywave
- Nikkei BP cleantech Institute, 2013, Global Hydrogen Infra market Size, at <https://www.nikkeibp.co.jp/atcl/newsrelease/corp/newsrelease20131021/>, Nikkei BP cleantech Institute,
- Plan to Develop Aichi Low-carbon Hydrogen Supply Chain Moves Forward, 2018, Aichi Prefecture

인터넷 사이트

- 닛케이BP클린테크연구소: <http://www.nikkeibp.com/research.html>
- 동아일보: <http://www.donga.com/>
- 두산퓨얼셀: <https://www.doosanfuelcell.com/kr>
- 위키미디어커먼스: https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page
- Barclays Research: <https://www.investmentbank.barclays.com/research.html>
- International Energy Agency: <https://www.iea.org/>