

국내외 사례연구를 통한 수소버스 활성화 방안

홍원표 충남연구원 미래전략연구단 책임연구원

wonpio@cni.re.kr

강수현 충남연구원 미래전략연구단 연구원

sh3737@cni.re.kr

본 연구는 충남도 제3회 수소에너지 국제포럼 개최와 관련하여 국내외 사례연구를 통해 충남의 수소버스 도입 방안을 모색하는데 목적이 있음

CONTENTS

1. 수소버스 도입의 사회적 배경
2. 주요국의 수소버스 보급 노력
3. 수소버스 보급 활성화를 위한 과제

요약

- 수소버스는 정부가 설정한 교통의 탈탄소화에 대한 구체적인 해답을 제공할 수 있는 대중교통정책으로서 선진국을 중심으로 정부 및 지역 차원에서 수소버스 보급 활성화가 이루어지는 추세임
- 국가 및 지역별로 수소버스 보급 사례를 살펴본 결과, 각국은 2020년대 초반 연료전지버스의 상용화를 예상하고 있으며, 2030년에는 본격적인 수소 인프라가 완성될 것으로 예상함
- 충남의 수소버스 보급 활성화를 위해서는, 다음을 고려해야 할 것임

첫째, 실증사업 없는 성급한 상용화 진입의 함정에 빠지지 않도록 체계적인 평가체계를 구축하는 것이 필요함

둘째, 자동차 부품업체의 생태계가 중요한 산업으로서, 산업 생태계 구축에 적극적으로 나서야 함

셋째, 수소버스 공급업자, 이용자, 정부 뿐 아니라 운수 사업자에게도 설득력을 높일 수 있는 운수 사업자 시각의 논리가 필요함

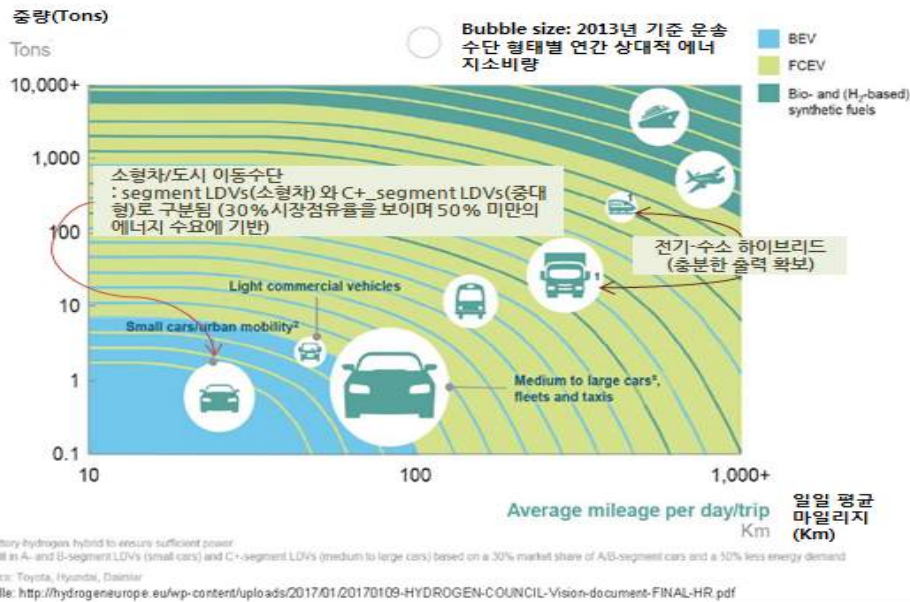
넷째, 규모화와 다양성의 균형으로서 수소버스 10대 이상 편대 편성의 필요와 다양한 사이트에서 테스트할 필요성이 있음

01

수소버스 도입의 사회적 배경

1) 버스에 주목하는 이유

- 교통과 관련하여 도시가 당면한 3가지 도전은 다음과 같음
 - 도시화와 혼잡: 교통서비스 수요 증가
 - 환경적 도전: 대기오염, 온실가스 배출
 - 경제적 제약: 제한된 예산으로 저렴한 양질의 교통서비스를 제공해야 함
- 전기버스는 현 단계에서 유일한 해결책으로 볼 수 있음
 - 버스는 도시와 농촌을 망라한 지속가능하고 포용적인 교통수단으로 개인교통이 아닌 대중교통의 핵심
 - 기술적으로는 전기버스와 수소전기버스가 유일한 방안임
- 버스, 택시, 트럭 등 편대를 이루는 차량은 에너지를 가장 많이 소비하는 부문으로 대기오염 및 온실가스 저감에 중요한 교통정책 대상임
 - 버스, 택시 등은 비록 차량 수는 상대적으로 작으나, 운행거리가 길어 연료를 가장 많이 소비하는 부문임(그림1 참조)
 - 따라서 디젤 등 기존버스를 친환경 버스로 교체하는 것이 대기오염 완화에 효과적인 방안임



[그림 1] 향후 역점에 두어야 할 다양한 형태의 교통수단(독일 NOW)
출처: NOW, <http://www.choonghsiafoundation.org>

2) ‘배터리 전기버스’와 ‘연료전지 전기버스(수소 버스)’의 비교

- 전기버스는 공통적으로 긴 주행거리와 운행의 탄력성을 보유
 - 충전 없이 300km 이상을 달릴 수 있음
 - 고정 노선 운행으로 충전소가 많이 필요치 않음

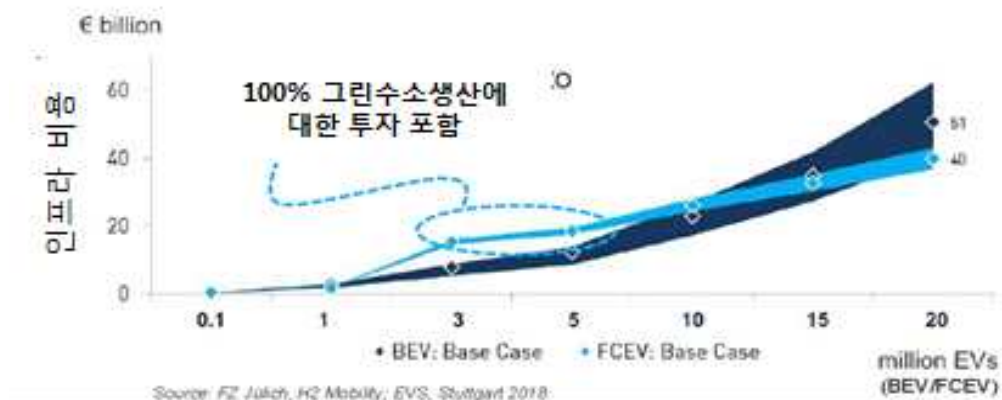
system cost comparison between BEV and FCEV



[그림 2] BEV와 FCEV의 시스템비용 비교(독일 NOW)

- 차량가격은 운행거리에 따라서 각기 장단점이 존재함
 - 단거리는 배터리 전기버스 차량 가격이 저렴하나 운행거리가 큰 차량은 연료전지 전기버스가 비용경쟁력이 있음
- 인프라 구축비용은 보급량에 따라 달라짐
 - 보급량이 적을 때에는 배터리 전기버스가 저렴하나, 많은 경우에는 연료전지 전기버스가 유리함

infrastructure investment costs comparison for BEVs and FCEVs in mass market



[그림 3] BEV와 FCEV의 상용화를 위한 인프라투자비용 비교(독일 NOW)

3) 수소 버스의 정책적 유효성

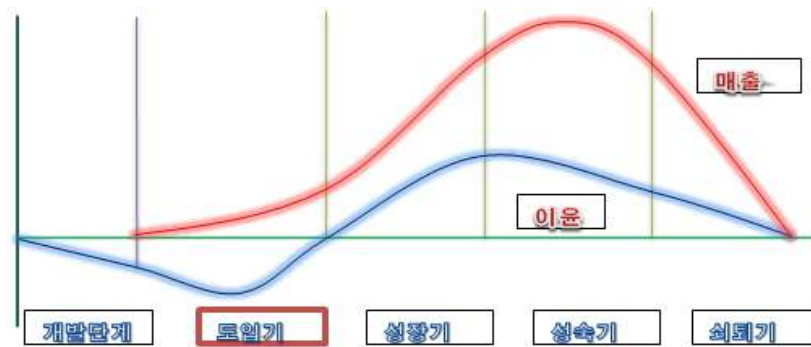
- 수소 버스는 대중교통의 탈탄소화의 해결책을 제시함
 - 정부가 설정한 교통의 탈탄소화에 대한 구체적 해답 제공
 - 고정 노선 교통으로서 인프라 구축비용이 비교적 적게 들면서 CO2 감축을 실현
- 지방정부 등 다양한 자원의 결합을 촉진
 - 전기 승용차는 막대한 비용이 소요되는 충전인프라 구축을 둘러싼 비용 분담 문제로 생산자, 소비자, 정부 간 시소게임이 불가피하며, 지방정부는 이러한 시소게임에서 적극성을 발휘하기 어려운 상황임
 - 그러나 대중버스는 지역 운행으로 지방정부의 참여가 용이하며 주도적 역할이 가능함
 - ※ 지자체 (준)자치단체 (지자체) 지
 - 상황임
 - 수소버스의 미세먼지 청소 효과는 환경오염문제를 해결하는 방안으로서 정책적 어필이 가능함
 - ※ 장차, 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx) 등 대기오염물질 배출이 있을
 - 있음

02

주요국의 수소버스 보급 노력

1) 수소버스 개발 및 보급의 전반적 상황

- 현재 개발단계를 벗어나 도입기에 진입하고 있음
 - 수소버스 시범 운행은 미국, 독일 등이 선도적으로 진행 중임
 - 기업의 산업수명주기 중 제품의 상용화 초기인 도입기는 참여기업들에게 기본적으로 적자를 면치 못하게 하는 구조임
 - 이러한 도입기를 “죽음의 계곡” 이라고도 부름



(그림 4) 기업의 산업수명주기

- 유럽, 미국이 주도하는 가운데 최근 일본, 한국, 중국의 공세적 투자가 이루어지고 있음
 - 2000-2010년 기간 관련 투자는 유럽, 미국, 일본이 주도
 - 2016년 이후 중국의 대열 합류



(그림 5) 전세계 수소 충전소 분포(2017년8월 기준)

출처: KAMA 홈페이지

2) 미국의 사례

- 미국 전역에 26대 수소버스가 운행 중이며 향후 42대 추가 운영 예정임(2017년 8월 기준)
 - 현재 8개 운수회사에서 26대의 수소버스를 운행 중에 있으며, 운수회사당 5대 이하가 대부분이나 샌프란시스코 ZEBAs는 13대를 운영하고 있음
 - ZEBAs의 경우 캘리포니아주 오클랜드에서 2010년부터 버스 13대, 충전소 2곳을 운영해 오고 있음
 - 향후 10개 운수회사에서 42대 추가 운행 예정이며, 가장 큰 규모는 AC Transit 이 캘리포니아주 오클랜드와 산타아나에서 각각 10대씩 운행 예정임

	버스 운영사	위치	버스 수	기술 설명서
1	AC Transit, ZEBAs	San Francisco Bay Area, CA	13	Van Hool bus and hybrid system integration, US Hybrid support for fuel cell
2	SunLine Transit Agency* (AFCEB prototype)	Thousand Palms, CA	1	ENC/BAE Systems/Ballard next-generation advanced design to meet "Buy America" requirements
3	SunLine Transit Agency*	Thousand Palms, CA	3	ENC/BAE Systems/Ballard updated AFCEB design
4	University of California at Irvine (UCI)	Irvine, CA	1	AFCEB
5	Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA)*	Boston, MA	1	AFCEB
6	Orange County Transportation Authority (OCTA)*	Santa Ana, CA	1	AFCEB
7	Stark Area Regional Transit Authority (SARTA)*	Canton, OH	5	AFCEB, one bus operated by Ohio State University for a year
8	Flint Mass Transportation Authority*	Flint, MI	1	AFCEB
Total			26	

*Project received funding through the NFCBP

*Total buses in service as of August 2017

*Project received funding through TIGGER

(표 1) 미국의 연료전지 대중교통버스 활성화 서비스

버스 운영사	프로그램	위치	버스 수	기술 설명서	상업화된 서비스 개시
AC Transit (CALSTART)	NFCBP	Oakland, CA	1	New Flyer 60-ft bus with next-generation Ballard fuel cell, Siemens hybrid propulsion system	After Altoona testing ends
SunLine (CALSTART)	NFCBP	Thousand Palms, CA	1	ENC bus with a battery-dominant fuel cell system from BAE Systems and a US Hybrid fuel cell	Q4 2017
SunLine	Low-No (2015)	Thousand Palms, CA	5	AFCEB	2018
SARTA	NFCBP	Canton, Columbus, OH	1	AFCEB	After Altoona testing ends
SARTA	Low-No (2015)	Canton, OH	1	AFCEB	4 of 5 buses delivered
SunLine	CEC	Thousand Palms, CA	1	New Flyer Xcelsior 40-ft bus, Hydrogenics fuel cell	Q4 2017
SARTA	Low-No (2016/17)	Canton, OH	5	AFCEB	TBD
AC Transit, OCTA	CARB	Oakland, Santa Ana, CA	20	New Flyer bus with Ballard fuel cell, 10 buses for each agency	TBD
SunLine	CARB	Thousand Palms, CA	5	New Flyer bus with Hydrogenics fuel cell	Q1 2018
Champaign-Urbana Mass Transit District	Low-No (2017)	Champaign-Urbana, IL	2	New Flyer 60-ft	TBD
Total			42		

(표 2) 미국의 신규 연료전지 대중교통버스 계획

- 미국 수소버스 정책은 계속 업그레이드되고 있으며, 상용화 단계로 나가기 위해 아래와 같이 부문별 목표를 설정하고 있음
 - 버스 수명: 12년, 50만 마일
 - 발전 수명: 25,000시간
 - 운행 중 호출빈도(호출간 거리): 버스당 4천마일, 시스템당 2만 마일
 - 유지보수비용: 마일당 0.4달러
 - 주행거리: 300마일
 - 연비: dge 당 8 마일

구분	단위	현재 상태 (범위)	2016 목표	궁극적 목표
버스 수명	연수(years)/마일(miles)	0.7-7/ 16,900-189,000	12/500,000	12/500,000
발전 수명	시간(hours)	600-25,000	18,000	25,000
버스 이용가능성	퍼센트(%)	42-93	85	90
연료충전	일 당(per day)	1	1 (<10 분)	1 (<10 분)
버스 비용	달러(\$)	1,800,000-2,400,000	1,000,000	600,000
운행중 호출 빈도 (버스/연료전지시스템)	호출 간 거리 (miles between road calls)	1,100-8,700/ 7,600-23,700	3,500/ 15,000	4,000/ 20,000
운영시간	일 당 시간(hours per day)/ 주 당 일(days per week)	7-21/ 5-7	20/7	20/7
예정된/예정되지 않은 유지보수 비용	거리당 달러(\$/mile)	0.49-2.42	0.75	0.40
거리	마일(miles)	277-357	300	300
연료 경제성	디젤 갤런환산 마일 (miles per diesel gallon equivalent)	5.83-7.82	8	8

[표 3] 미국 에너지부/연방교통국 목표치와 비교한 FC전기버스 성능 요약

- 미국 수소버스는 현재 상용화 단계 7-8수준이라고 평가됨
 - 상용화를 위한 기술준비수준이 현재 7-8단계로 초기상용화를 앞두고 있는 것으로 평가됨



[그림 6] FCEVs 발전 상용화 단계 모형도

3) 유럽의 사례

- 유럽은 2002년부터 수소 버스 관련 시범사업을 수행하였으며, 현재 가장 적극적으로 수행 중 임
 - 2002년 CUTE 프로젝트를 시발로 EU, 국가 및 지방정부 차원에서 수소 버스 시범사업 실시
 - CHIC 프로젝트를 계기로 본격적인 실증사업 돌입
 - CHIC 이후 후속 프로젝트는 버스 편대 규모가 커지고 있음

프로젝트	사이트	기간	버스 수량
Cute&hyFLEET		2001-2009	27
CHIC	9개 도시	2010-2016	54
High V.Lo City	4개 도시	2012-2019	14
3Emotion	5개 지역		29
MEHRLIN	4개 국가	2017-2020	7(충전소)
JIVE	5개 국가	2017-2022	144
JIVE2	14개 지역	2018-2023	152

[표 4] EU의 최근 주요 수소 버스 실증 사업 목록

출처: <https://www.fuelcellbuses.eu/demomap>

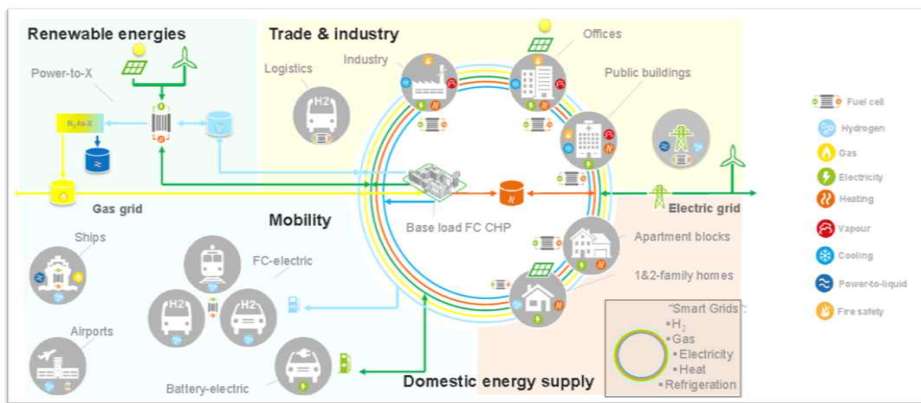
- 유럽은 2020년 초반 수소버스의 상용화를 목표로 함
 - 상용화는 공공부문의 보조금 지원 없이 시장에서 수소 버스가 경쟁력을 확보할 수 있는 수준에 오르는 것을 의미하며, 또한 대량생산체계가 가능하게 되는 단계를 의미
 - EU의 수소버스 시범사업별 개발관련 주요 진행일정은 아래 그림과 같음

		200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
시 범 프 로 젝 트	CUTE & HyFLEET : CUTE(2001-09)											
	CHIC											
	High V.Lo.City											
	HyTransit											
	3Emotion											
	JIVE											
	JIVE 2											
미래 계획	상용화 전환											
	공동 조달 전략											

(그림 7) EU의 수소버스 개발관련 주요 일정

출처: CTE-US ZEB webinar(2017), Fuel Cell buses in Europe

- 독일은 국가통합에너지시스템에서 연료전지 지위를 정립하고 있음
 - 에너지시스템은 수소, 가스, 전기, 열, 냉방 등으로 구성
 - 수소는 재생에너지와 결합이 필수
 - 수소는 차량, 열차, 선박, 비행기 등 모든 탈것(vehicle)에 적용
 - 산업, 건물용 등에 적극 적용



[그림 8] 독일의 국가통합에너지시스템과 연료전지의 지위(부록1 참조)
 자료: Herbert(2018), Deployment of Hydrogen and Fuel Cell Technology in Germany

- 독일의 여객용 수소 인프라 구축 계획(2006-2030)
 - 2020년까지 차량보급현황과 독립적으로 충전소 확충, 100개 목표 *2018년 3월 기준 43개임
 - 2021-2030년 기간 차량보급에 따라 100개 충전소 확충, 2015년에 400개 목표



[그림 9] 독일의 수소 충전소 확충 계획

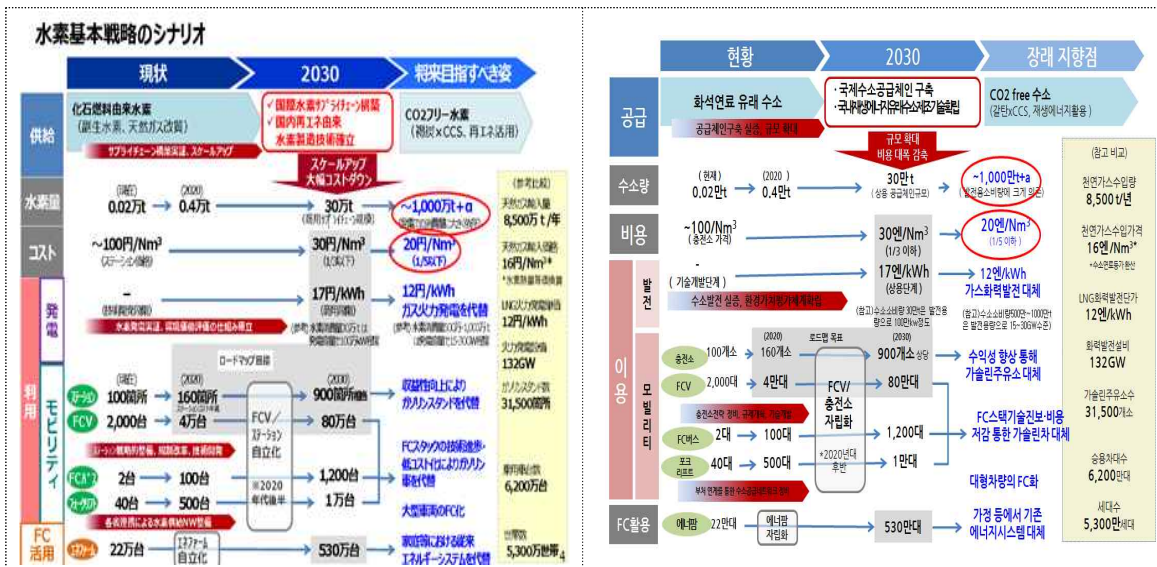
자료: Herbert(2018), Deployment of Hydrogen and Fuel Cell Technology in Germany

4) 일본의 사례

- 일본은 <수소기본전략> 발표(2017.12)로 2030년 중기, 2050년 장기목표를 구체화 함
 - 수소 공급 방식, 수소량, 이용(발전 및 모빌리티), FC활용 분야에서 2020년, 2030년, 2050년 목표를 제시하고 있음
 - 2014년 <제4차 에너지기본계획>의 수소사회 추진 전략에 비해 수소버스 등 분야에서 구체적인 목표를 제시함
- 수소 트럭·버스 보급의 정량적 목표를 명시하였으며, <제5차에너지기본계획(2018.08.)>은 이전 계획을 기본적으로 계승하고 있음

구분	현황	2020	2030	2050
수소충전소(개소)	100	160	900	수익성 향상에 의한 가솔린주유소 대체
FC차(량)	2,000	40,000	800,000	스택기술진보, 비용절감에 의한 가솔린차 대체
FC버스(량)	2	100	1,200	
지게차(대)	40	500	10,000	대형차량의 FC화

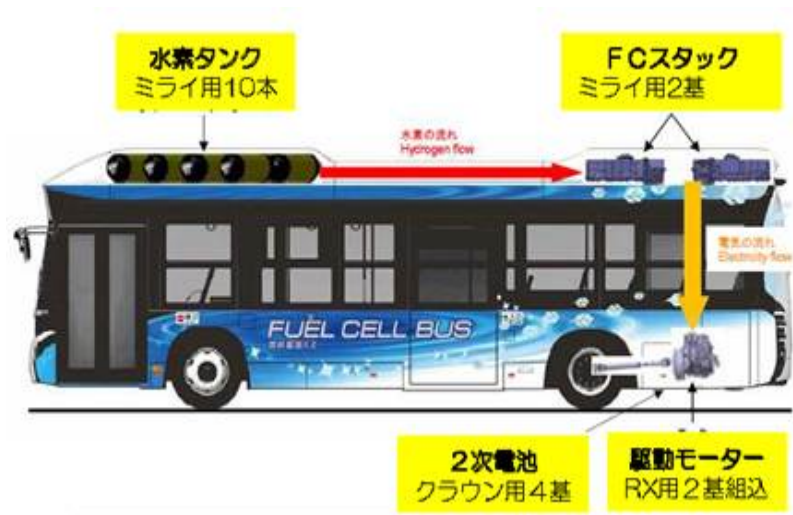
[표 5] 수소 트럭·버스 보급 정량적 목표 명시



[그림 10] 일본 수소기본전략의 시나리오(부록2 참조)

- 2020년 도쿄올림픽의 수소사회 쇼케이스화가 진행됨

- 도쿄도는 도요타, 혼다와 협력해 오는 2020년까지 수소연료전지차(FCEV) 6,000대, 수소충전소 35개소를 구축키로 발표(2015년)
- 도쿄도는 FCEV 보급 확대를 위해 동기간 내 452억엔(약 4,100억원)을 투입. 예산은 FCEV 구매와 수소충전소 구축 보조금으로 사용



〔그림 11〕 도쿄도에 투입된 수소버스 소라

출처: 도요타자동차주식회사(2016), 수소 버스의 개발과 전망

- 일본 업계의 주요 동향

- 일본은 수소충전소 설치 확대를 목표로하는 기업 공동출자 특수목적법인 JHyM(2018.3.5) 결성
 - * 2017년 말 기준 일본은 100기의 수소 충전소, 2800여 대의 수소차 보급
- 도요타사는 수소연료전지가 장착된 20대의 지게차를 아이치현(愛知縣) 공장에 배치
 - * 2016년 간사이 공항에 납품한 연료전지 지게차 가격은 배터리 지게차에 비해 3.7배

5) 중국의 사례

- 2016년 10월 중국정부는 <중국연료전지산업기초시설발전청서> 발표, 최초로 수소 에너지산업 발전로드맵을 공표함

발전목표	기술경로 분석	중점 발전사항	노선도 개요																		
<ul style="list-style-type: none"> • 2020년~2030년 기간 시범운영에서 대규모 적용으로 점진 추진 • 연료전지차 <table border="1"> <tr> <th>2020년</th> <th>2025년</th> <th>2030년</th> </tr> <tr> <td>5,000대</td> <td>5만대</td> <td>백만대</td> </tr> </table> • 중전소 수 <table border="1"> <tr> <th>2020년</th> <th>2025년</th> <th>2030년</th> </tr> <tr> <td>100개</td> <td>300개</td> <td>500개</td> </tr> </table> • 연료전지 내구성 <table border="1"> <tr> <th>2020년</th> <th>2025년</th> <th>2030년</th> </tr> <tr> <td>5,000시간</td> <td>6,000시간</td> <td>8,000시간</td> </tr> </table> 	2020년	2025년	2030년	5,000대	5만대	백만대	2020년	2025년	2030년	100개	300개	500개	2020년	2025년	2030년	5,000시간	6,000시간	8,000시간	<ul style="list-style-type: none"> ● 출력밀도 제고 ● 내구성 제고 ● 원가 절감 ● 수소적재 안전성 제고 	<ul style="list-style-type: none"> ● 연료전지 핵심재료 및 중요부품 기술 ● 승용차/상용차의 연료전지시스템 핵심기술 ● 승용차/상용차의 연료전지 동력 계열 및 완성차통합기술 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 단기: 소출력 연료전지와 대용량 동력전지의 동력구조를 특징으로 공공 차량 만대 규모 기술시범응용 ◆ 중기: 대출력 연료전지와 중등용량 동력전지를 결합한 전-전혼합을 특징으로 비교적 넓은 지역에서 약 10만대 규모 대량 적용 ◆ 장기: 100%연료전지 동력으로 개인승용차, 대형상용차 등 백만대 규모 상업적 적용; 재생에너지 중심의 수소에너지 공급체계 건설 및 확대로 연료전지자동차 발전을 뒷받침
2020년	2025년	2030년																			
5,000대	5만대	백만대																			
2020년	2025년	2030년																			
100개	300개	500개																			
2020년	2025년	2030년																			
5,000시간	6,000시간	8,000시간																			

[그림 12] 중국 연료전지차 기술 노선도 요점

출처: 중국자동차엔지니어링학회(2016)

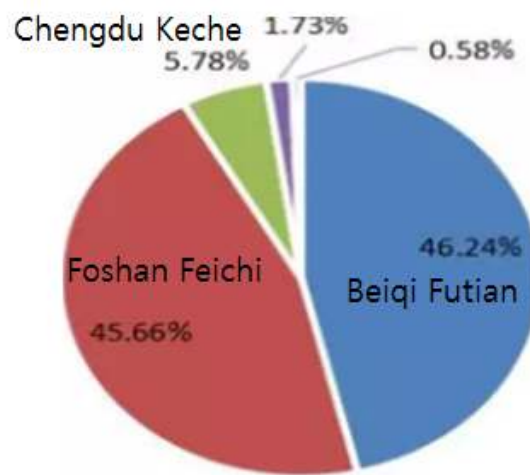
- 중국의 중앙정부는 선(先)버스후(後)승용차 개발 전략을 수립한 것으로 알려져 있음
 - 버스 2020년 양산, 승용차는 2025년 양산
 - 2022년 베이징올림픽 기간 200여대 수소 버스 운용 계획
 - 중국 수소에너지 및 연료전지산업 혁신전략연맹 결성(2018년2월)



[그림 13] 상하이시 최초 수소버스 운행(2018.9.27)

출처: <http://www.inpai.com.cn/news/new/20181009/3730.html>

- 상하이 등 지방정부가 자체적인 수소버스산업 활성화를 위한 이니셔티브를 발표함
 - 상하이시는 <상하이시 수소연료전지차 발전계획> 발표, 2020년까지 기업 100개 유치, 수소차 기술 국제수준 향상 목표
 - 후베이 우한시는 중국 최초 수소연료전지 개발산업단지 건립 예정, 2020년까지 100개이상 기업 유치, 2025년까지 글로벌 수준 3-5개 수소에너지기업 육성을 목표
 - 광둥 포산시(佛山市)는 2018년 연내 수소 버스 800대 운영 개시 예정(충전소 10개)



[그림 14] 2018년1-4월 수소버스 생산자 비중
출처:Ofweek 산업연구원

6) 한국의 사례

- 한국의 수소버스 시범사업은 2018년부터 시작 예정
 - 2018년 평창동계올림픽에 셔틀버스 2대 투입
 - 2018년 서울시, 울산시 시내버스에 도입 예정

- 2019년에 20대 수소 버스 도입 예정

● 파격적인 수소버스 보급정책이 시행되고 있음

- 2022년까지 수소버스 1,000대 도입(?) 등 야심찬 목표를 설정
- 언론은 수소충전소 경영 효율화 측면과 미세먼지 감축 측면 부각
- 수소충전소보급 촉진을 위한 특수목적법인 설립(2018년 예정) 예정
- 수소유통센터 신설을 추진하여 수소가격 합리화 및 지역 편차 해소 모색

● 우리나라의 수소버스 생산기술 수준은 세계적 수준으로 평가됨

- 현대차 제4세대 수소버스, 수소트럭 곧 발표
- 현대차 스위스 H2Energy에 수소트럭 1,000대 공급 MOU 체결(2019-20123)

민관 공동 수소차 산업생태계 구축 가속화

□ 수소차 시장 선점을 위하여 민관 투자: '22년까지 총 2.6조 원

	'18	'19	'20-'22
투자금액	1,900억 원	4,200억 원	2조 원
주요 프로젝트	▶수소중점 민간SPC 설립	▶실증용 수소버스 제작 ▶버스용 수소저장용기 출시 ▶국산 CNG개질장치 양산	▶수소차 생산공장 증설 ▶스택공장 증설 ▶태커지형 수소충전소 양산

□ 수소차 산업 생태계 활성화

① 수소차('22년까지 1.6만대 보급 목표)

- '22년까지 수소차 스택 등 주요 부품소재에 연구개발(R&D) 1,250억 지원
- '18년 서울, 울산을 시작으로 '19년 전국 5대도시 시내버스 정규노선 투입 및 고속버스로 확대 추진 → '22년 1천 대 수소버스 도입

② 수소충전소('22년까지 310기 설치 목표)

- '18.11월 수소충전소 특수법인(SPC) 출범 → 총 1,500억 원 투자
- '22년까지 국산화율 제고(40~80%), 충전소 구축비용 30% 저감
- '19년말까지 이동식 충전소, 융복합 충전소 설치 허용

③ 수소에너지

- '18. 12월까지 3차 에너지기본계획에 수소에너지 반영 추진
- '19년 수소에너지 안정적 공급 및 유통체계 구축
→ 수소유통센터 신설 수소생산 확대를 위한 가스전력화(P2G)시스템 실증사업

□ '22년까지 3,800개의 일자리 창출('18년 400개, '19년 480개)

- 연료전지 스택, 버스용 고압용기, 전해질막 등 상생형 부품 생태계 구축

[그림 15] : 한국산업통상부 보도자료

출처:산업통상부 보도자료(2018.6.25)

- 울산시는 국내 지자체 중 선도적으로 체계적인 수소에너지산업 중장기 로드맵을 작성함

연세	2018년	2025년	2035년	2040년	2045년
수소 전기차	'13년 승용 출시 '17년 택시 운영	승용 보급 (택시, 관광서, 개인) (22) 10,000대 버스 시범운영/보급		글로벌 수소전기차 클러스터 조성 (산업단지 조성, 글로벌 기업 유치)	
수소 충전소	'17년 2기 확보 3기 추가건립 중	Off-site 형 보급 (20년 12기 확보)	보급확대 (22) 20기	지역내 상용 수준 수소충전소 확대 (LPG 충전소 수준 차량, 충전소 확보)	
연료 전지	가정 수소타운 운영 실증단지 구축	수소시티 구축 (온산) 산업단지연료전지시험보급 수소 ESS 기술 실증		배관연계 수소충전소 확대, 수전해 기반 수소충전소 구축	
산업				<ul style="list-style-type: none"> 수소타운 보급 확산 석유화학단지 내 수소연료전지 보급 확대 수소 ESS 기술 보급 	

(그림 16) 울산시 수소에너지산업 발전 중장기 로드맵 중 수소 이용 부문
출처:울산테크노파크 자료 제공

- 울산시가 적극적으로 수소버스 및 수소택시 보급에 앞장서고 있음
 - 울산시는 국내에서 선도적으로 체계적인 수소에너지산업 중장기 로드맵 마련
 - 2035년까지 수소차 6만대, 모든 시내버스를 수소버스로 교체

울산시 수소차 보급계획 (단위:대,곳)

구분	2018년	2020년	2025년	2030년	2035년
승용차	303	4000	2만5000	6만7000	-
관용차	19	30	56	76	-
시내버스	1	3	100	300	741
충전소	5	12	35	60	-

*누계 자료:울산시

(그림 17) 울산시 수소차 보급계획

7) 국가지역별 상황 요약

- 국가, 지역마다 상황은 다르지만 몇 가지 공통점을 볼 수 있음
 - 2020년대 초반에 연료전지 전기버스의 상용화를 예상하고 있음
 - 트럭, 버스 등 편대 운행을 하는 차량에 연료전지를 장착하는 것이 산업생태계 형성이에서 큰 축을 차지
 - ‘청정’ 수소 생산에 대한 목표가 분명해지고 있음: clean 수소, green 수소, CO2 free 수소 등

- 2030년에는 본격적인 수소 인프라가 완성될 것으로 예상함
 - 정부보조금 없이도 연료전지 전기차, 수소충전소가 상업적 경쟁력을 갖추는 것이 관건임

구분	미국	일본	중국	독일	한국
FCEV보급대수('30)	100만대	80만대	100만대	180만대	63만대
수소충전소 개수('30)	123곳('23년)	900곳	1000곳	1000곳	520곳
FCEV 구매보조금 상한(국비)	1400만원 (\$13,000)	2,100만원 (208만엔)	3,400만원 (20만위안)	1,500만원 (1.1.만 유로)	2,750만원

[표 6] 각국의 수소연료전지차 발전 로드맵

출처: 한국석유산업협회(2018), 수소연료전지차 관련 국내외 동향 및 정책 제언

03

수소버스 보급 활성화를 위한 과제

1) 수소버스 보급 활성화를 위한 과제

- '상용화' 는 버스 사업자가 정부보조 없이 또는 지원규모가 상당히 적은 상황에서도 정상적으로 운영할 수 있는 수준에 이르는 것을 의미함
 - 기술적으로는 기술준비수준이 TRL 8에서 TRL 9(상용화 가능)으로 나아가는 것
 - 경제적으로는 디젤버스 등 전통 버스와 비교하여 가격 및 운영 경쟁력을 확보하는 것
 - 또한 배터리 전기버스에 견주어도 경쟁력이 있을 것

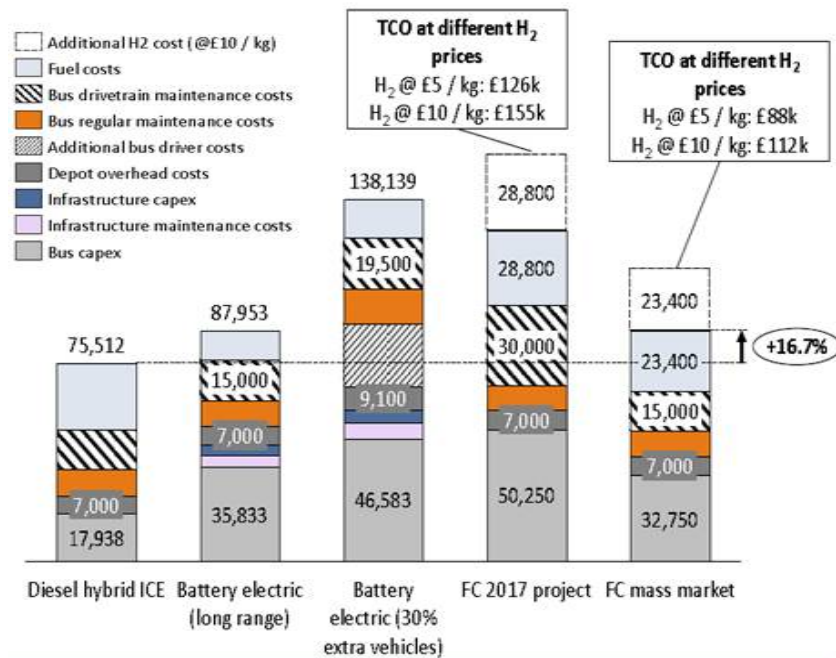
- 유럽과 미국은 2020년대 초반에 상용화로 진입할 것으로 예상함

기술준비수준	TRL 정의	내용
TRL 9	예상되는 여건의 모든 범위에서 실제로 운영된 실제 시스템(Actual system operated over the full range of expected conditions)	기술의 최종 형태이며, 완전히 상업화된 제품을 위한 배치, 마케팅, 지원이 시작됨(The technology is in its final form. Deployment, marketing, and support begin for the first fully commercial products)
TRL 8	실험과 실증을 통해 완성되고 검증된 실제 시스템(Actual system completed and qualified through test and demonstration)	실제 시스템 개발의 마지막 단계로서 소수의 지역에서 50-100대 차량의 시범이 있고 모든 유지보수가 운수 사업자 직원에게 이전됨(The last step in true system development. Demonstration of a limited production of 50 to 100 buses at a small number of locations. Beginning the transition of all maintenance to transit staff.)

[표 7] 기술준비수준과 내용

2) 유럽 수소버스 사례의 시사점

- 대량운행과 수소가격(Kg당 5파운드)을 전제로 하면 수소버스는 디젤내연기관과 유사한 수준으로 소유자 비용(ownership cost)이 형성되며 배터리 버스보다 경쟁력이 있을 수 있음
 - [대량 운행] 약 1,000대 규모이면 하이브리드버스에 근접한 가격으로 떨어지고 보조 없이도 운행 가능할 것
 - [수소 가격] 유럽 상황에서는 Kg당 5파운드 수준이면 가능
 - 배터리 전기버스는 짧은 주행거리와 잦은 충전으로 수소 전기버스보다 소유자 비용이 30% 이상이 더 증가
- 연료전지 전기버스 비용 감축의 주요 변인은 차량과 수소 가격에 있음
 - [그림 18]은 차량별 소유비용을 분석한 표이며, 가격차이가 가장 큰 부분은 버스 자본지출과 수소가격임

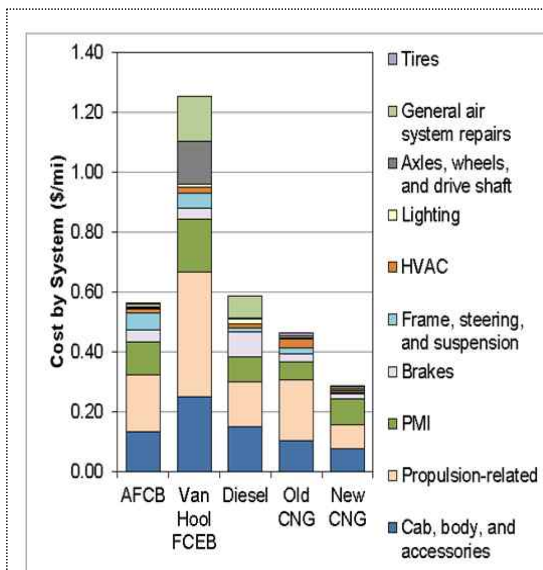


(그림 18) 수소버스 연간 소유자 비용 분석

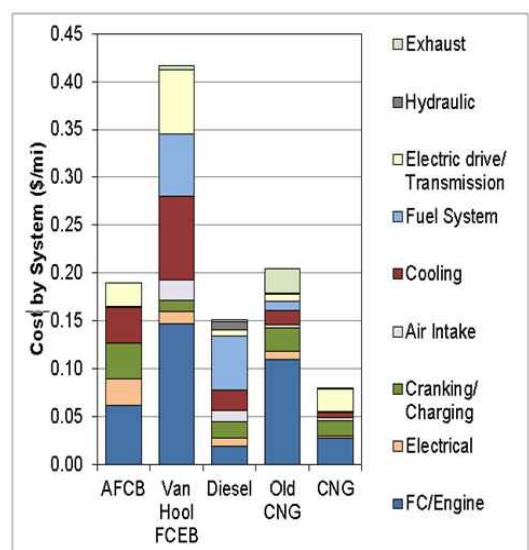
출처: CTE-US ZEV webinar(2017), Fuel Cell Bus in Europe

3) 미국 수소버스 사례의 시사점

- 미국 수소버스 실증 결과 주요 도전은 부품 공급, 편대 규모, 유지비용, 배터리 버스와의 경쟁임
 - 부품 공급: 외국계 회사 제품의 국산화, 전통버스와의 부품 공유 통해 원가 절감 및 납기 보장
 - 편대 규모: 소규모 편대로는 인건비 상승 불가피, 규모화 필요
 - 유지 비용: 품질보증 이후 유지비용 통제 문제
 - 배터리 버스와의 경쟁: 짧은 주행거리, 긴 충전시간 등 배터리 버스의 문제를 점차 해결하면서 경쟁력을 확보해 가고 있음



(그림 19) 미국 수소편대의 마일 당 유지비용 구성



(그림 20) 미국 수소편대의 propulsion 관련 마일 당 유지비용 구성

참고: NREL(2018), Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2017

4) 우리나라 수소버스 보급 활성화를 위한 시사점

- 체계적인 실증 평가체계가 필요함

- 현재 우리나라는 수소버스 실증사업을 막 시작한 단계로 충실한 실증사업을 지속하는 것이 향후 본격 보급 활성화를 위해 필요함
- 유럽의 CHIC 프로그램 등은 유럽 차원에서 모든 실증사업에 대한 정밀한 평가를 축적해 왔고, 미국의 NREL은 국가 차원에서 수소버스 실증에 대한 보고서를 발표 중
- 실증사업의 성과는 시범운영의 문제점을 파악하고 개선사항을 도출하고 해결하는 것으로 이를 위해서는 체계적인 평가체계의 구축 및 실사가 관건임
- 현재 정부 및 지방정부 차원에서 실증사업을 건너뛰고 전면적인 보급에 돌입하는 것은 성급한 상용화 진입의 함정에 빠질 우려가 있음
- ※ 수 있음
- 수소버스 실증사업이 다른 나라와 비교해 시행이 늦어진 우리나라에서는 압축적인 실증 단계를 거쳐야만 하며, 이를 위해서는 보다 체계적인 평가체계가 필요함

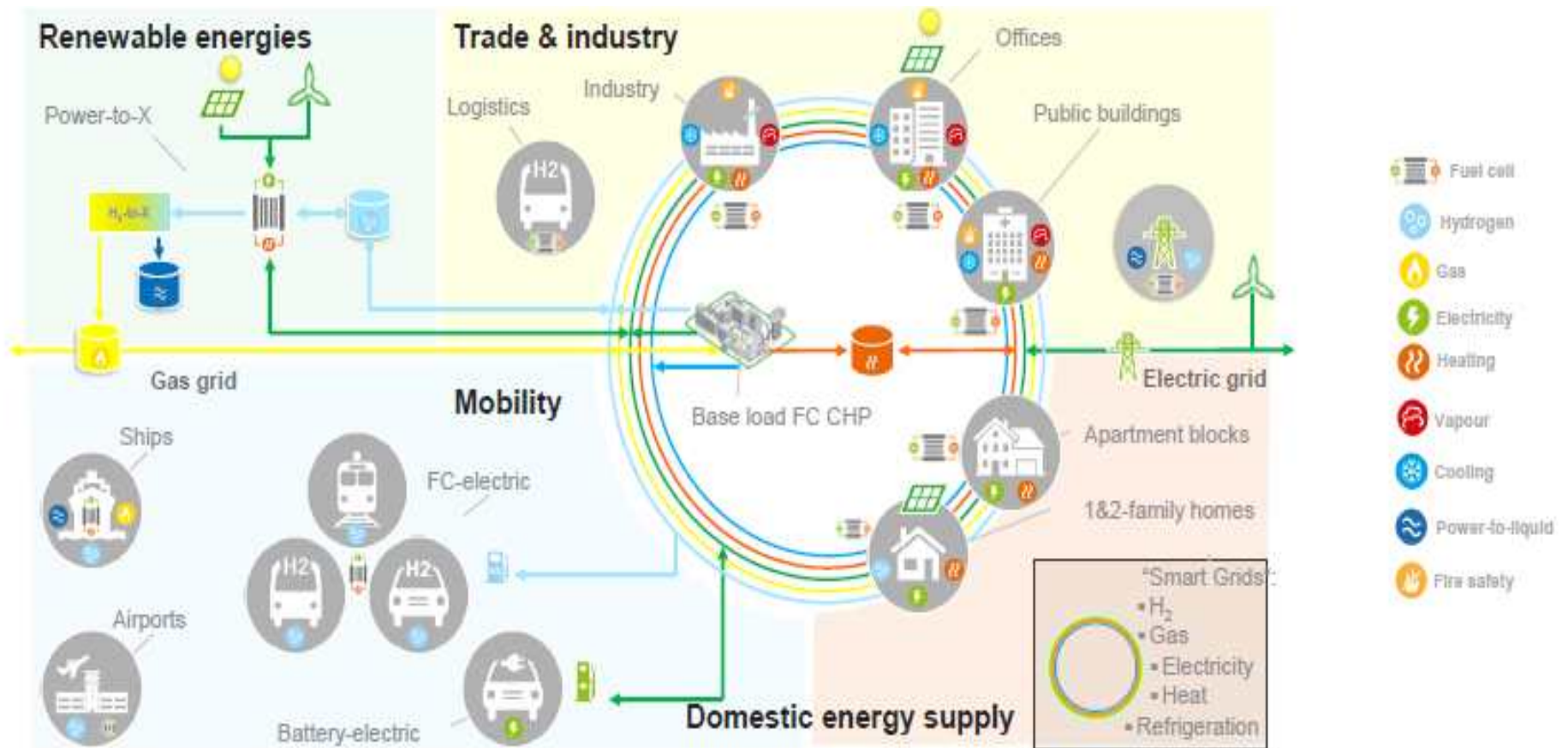
- 산업 생태계 구축의 측면에서 부품업체의 생태계가 관건이 될 것임

- 미국, 유럽 사례에서 보듯이, 완성차 업체뿐 아니라 부품업체의 협조가 없이는 상용화 단계로 진입하는데 근본적인 애로사항이 있음
- ※ 나타나며, 불가능함
- 수소버스는 LNG버스 등 전통버스와 함께 쓸수 있는 공용부품이 상대적으로 많기 때문에 부품업체 생태계 구축 측면에서 배터리 전기버스보다는 보다 유리한 입장에 있음

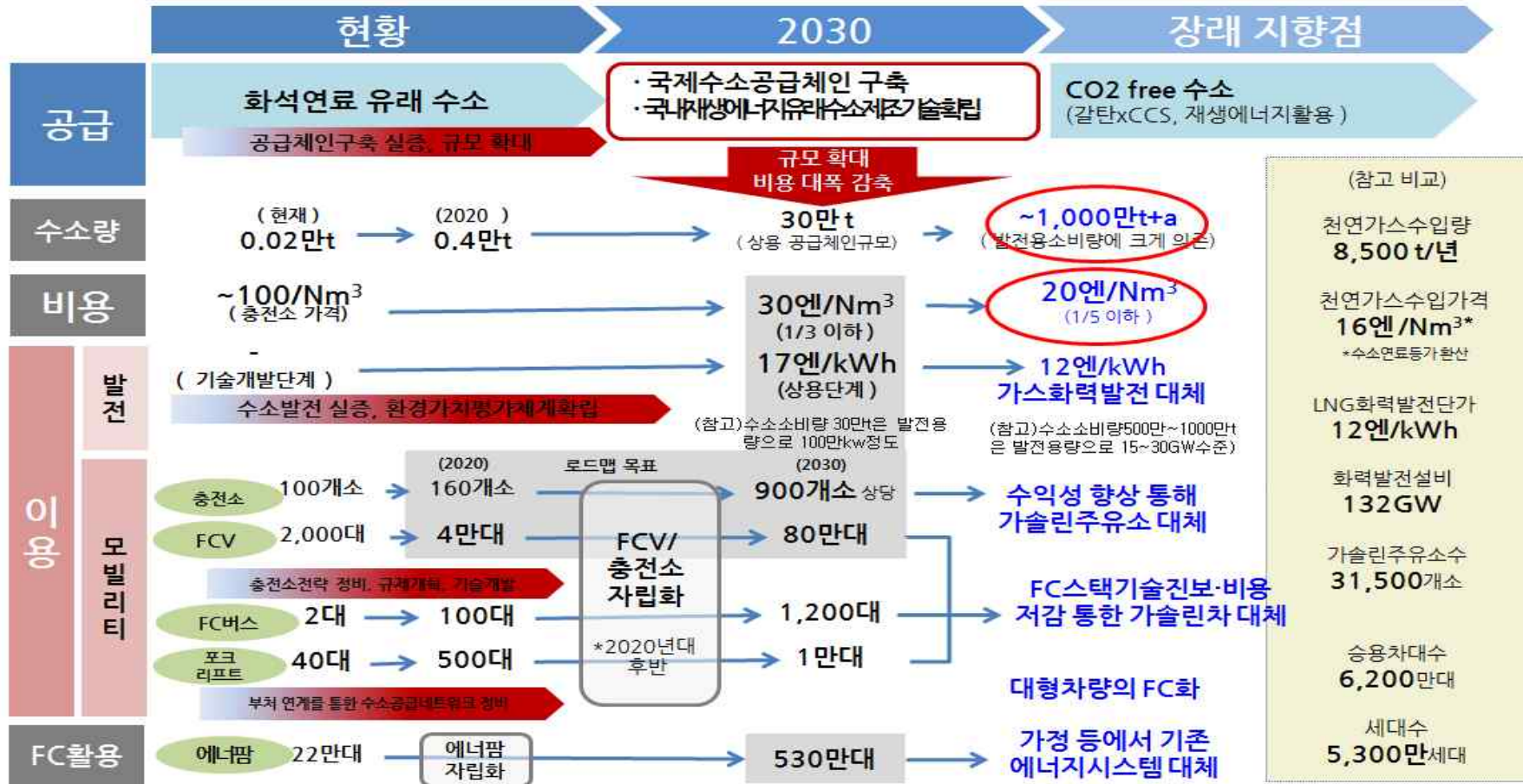
- 운수 사업자 시각이 필요함: 공급업자, 이용자, 정부 뿐 아니라 운수사업자에게도 설득력이 있어야 됨

- 수소버스 보급 확대를 위해 차량, 충전소 관련 정부의 지원 및 보조금이 확대되고 있는 추세임
 - 초기 보급 실적 확대를 위해서 보조금을 대량 투입하는 것은 불가피하나, 수소버스의 지속가능성을 위해서는 그 버스를 도입하는 의사결정주체인 운수 사업자의 시각에서 문제를 바라볼 필요가 있음
 - 진정한 상용화는 정부의 보조금이 없거나 미미한 상황에서도 수소버스가 운행될 수 있는 단계를 의미함
 - 운수 사업자 입장에서 수소버스가 수지타산이 맞거나 혹은 적어도 정부의 보조금을 감안하여 가격성능비가 확보될 경우에만 수소버스의 지속가능성을 기대할 수 있음
 - 따라서 운수사업자가 직면하는 비용과 편익의 시각에서 문제를 바라보는 것은 수소버스의 성패를 가르는 중요한 잣대로 작용할 것임
- 규모화와 다양성의 균형이 필요함
 - 유럽과 미국 등 국외 사례를 보면, 실증사업 수행에서 초기에는 2-3개 편대규모로 운행하다가 실증사업 후기에 들어서서는 10대 이상의 편대를 편성하는 경우가 늘고 있음
 - 편대규모가 작을 경우 수소버스 유지보수 및 관리를 위한 인건비 지출 비중이 커지기 때문에 규모의 경제를 확보할 수 없음. 이러한 문제는 충전소 운영자 입장에서도 마찬가지임
 - 따라서 운행 편대의 규모를 10대 이상으로 확대하는 방안이 필요한 바, 이는 지방정부 차원에서 도입할 경우에는 도달하기 어려운 규모임
 - 지방정부의 적극성을 유지하면서도 편대의 규모화를 확보하기 위해서는 정부와 지방정부 간 협조를 해야만 함
 - 한편 실증사업은 다양한 기후, 지형, 도시화 등 변수에 대한 고려가 필요하므로, 수소버스 운영 시범도시 또는 사이트를 선정시 이러한 다양한 환경변수에 대한 고려가 필요함

부록자료 1. 독일 통합에너지시스템과 연료전지의 지위



부록자료 2. 일본 수소기본전략의 시나리오



참고 문헌

- 조승환, 2018, 울산광역시 수소산업 동향 및 수소충전소 운영 모델, H2Korea 정책 WG-3, 5차 운영위원회(2018.3)
- 한국석유산업협회, 2018, 수소연료전지차 관련 국내외 동향 및 정책 제언, 한국석유산업협회
홍원표, 2016, 수소경제사회를 위한 주요 외국 사례, 충남수소에너지포럼(2016.7.19)
- Eudy, Leslie and Post, Matthew, 2018, Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current status 2017, NREL
- Element Energy Ltd, 2017, Fuel Cell Buses in Europe: Latest Development and commercialization pathway, CTE-US ZEB Webina(2017.7.25)
- Herbert, Thorsten, 2018, Deployment of Hydrogen and Fuel Cell Technology in Germany, EHEC(2018.3.15.)
- REN21, 2016, RENEWABLES 2016 Global Status Report, REN21
- 日本經濟 産業省 2018 水素基本戦略 (要約) 日本經濟 産業省発表 (2017.12.26)
トヨタ自動車株式会社 2016 燃料電池の開発と展望 第3回燃料電池自動車等の普及促進に係る自治体連携会議 (2016年10月31日)
- 中国 汽车 工程协会, 2016, 新能源与 智能汽车 技术 路线图概要, SAE China (2016.11.26)
- 中国 汽车 工业协会, 2017, 中国 新能源汽车产业发展报告, CAAM (2017.12.24)