

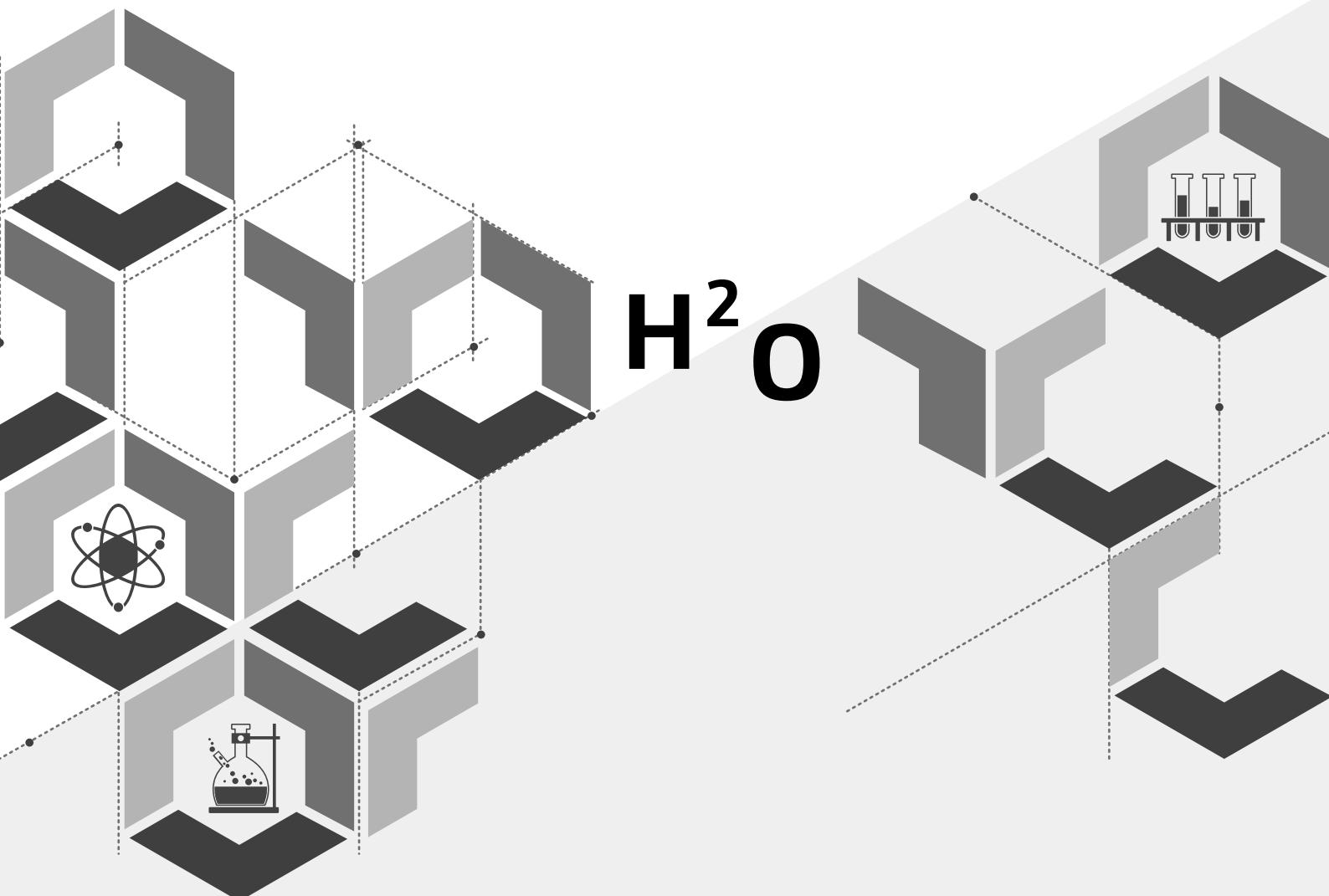
제133회 한림원탁토론회 - 제17회 과총 과학기술혁신정책포럼

# 수소경제의 도래와 과제

일 시 | 2019년 2월 18일(월), 14:30

장 소 | 과총회관 소회의실2(B1F)

주 최 | 한국과학기술한림원, 한국과학기술단체총연합회





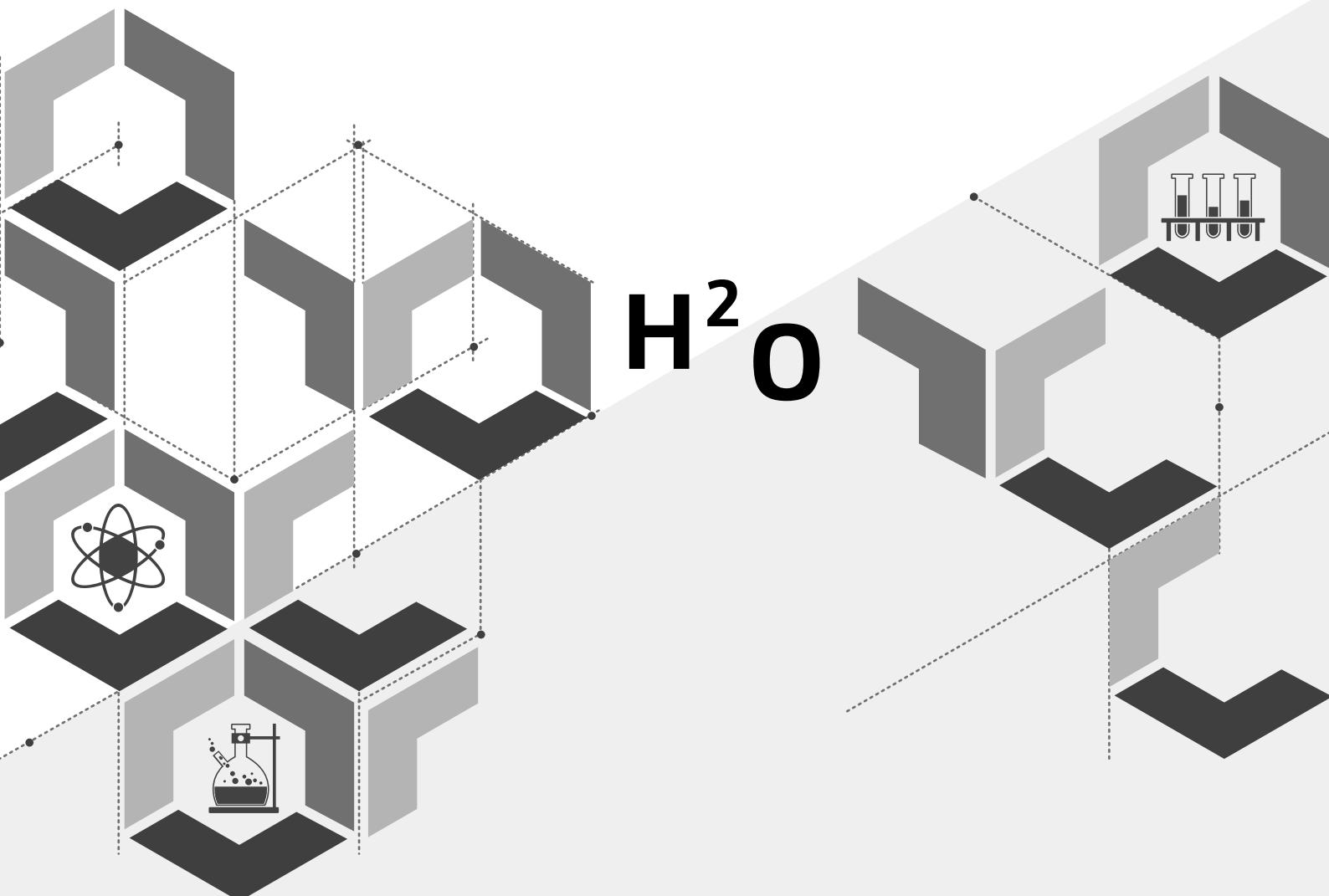
제133회 한림원탁토론회 - 제17회 과총 과학기술혁신정책포럼

# 수소경제의 도래와 과제

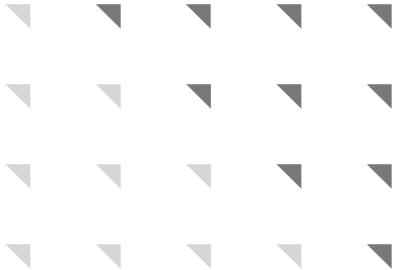
일 시 | 2019년 2월 18일(월), 14:30

장 소 | 과총회관 소회의실2(B1F)

주 최 | 한국과학기술한림원, 한국과학기술단체총연합회







## 초대의 말씀

안녕하십니까?

산업통상자원부는 지난 1월 17일 수소경제 활성화 로드맵을 발표하였습니다. 이 로드맵에 의하면 이미 국제경쟁력을 확보하고 있는 수소차의 생산과 공급 인프라를 세계 최대 규모로 늘려 2040년에는 연간 620만대 생산 규모를 갖추어 세계시장을 선도하고, 또한 발전소와 가정에 수소연료전지 공급을 확대하여 원전 10기 이상의 전기(21GW)를 생산함으로써 이산화탄소 방출도 줄이고 일자리와 국부도 창출하여 수소경제를 이루겠다는 청사진입니다. 이것이 현실화 된다면 현재 진행 중인 탈원전과 맞물려 우리나라의 에너지 및 기간산업에 근본적인 변화가 예상됩니다.

수소자동차에 들어가는 수소연료전지(hydrogen fuel cell)에 대한 기술은 이미 1970년 대부터 있어 왔으나, 연료전지의 가격과 수명, 1회 충전으로 주행가능거리, 수소 생산과 압축·운송·충전 인프라의 설치와 관련된 어려움으로 대량생산이 이루어지지 않고 있었습니다. 근래에 이르러 연료전지 기술의 발전으로 수소차의 경제성이 많이 개선되고 있으나, 차 한대당 수천만원의 보조금이 들어가고 충전소 인프라 구축에 대규모 투자가 필요하여 아직은 전기차나 하이브리드차에 비해 경제적 여건이 불리한 것도 사실입니다.

이에, 한국과학기술한림원과 한국과학기술단체총연합회에서는 수소경제를 성공적으로 이룩하기 위해 기술적으로 극복해야 할 문제점들과 필요한 정책에 대해 논의하고자 여러 전문가들을 모시고 ‘수소경제의 도래와 과제?’를 주제로 제133회 한림원탁토론회-제17회 과총 과학기술혁신정책포럼을 개최하고자 합니다. 대학, 출연(연) 등 과학기술계와 기업체 관련 전문가님들이 많이 참석하시어 우리나라 수소경제 도래와 관련 중요한 지표가 설 수 있도록 많은 고견을 내어 주시기 바랍니다.

감사합니다.

2019년 2월  
이 명 철 한국과학기술한림원 원장  
김 명 자 한국과학기술단체총연합회 회장



# PROGRAM

제133회 한림원탁토론회 – 제17회 과총 과학기술혁신정책포럼 ‘수소경제의 도래와 과제’

사회: 유육준 한국과학기술한림원 총괄부원장

14:00~14:30 (30') 등록

14:30~14:45 (15') 개회사

이명철 한국과학기술한림원 원장

김명자 한국과학기술단체총연합회 회장

14:45~15:15 (30') 주제발표 1

‘수소경제 로드맵’

김봉석 산업통상자원부 에너지신산업과 총괄팀장

15:15~15:45 (30') 주제발표 2

‘수소 연료전지 기술 및 미래 전망’

김민수 서울대학교 교수

15:45~16:15 (30') 주제발표 3

‘수소전기차의 미래’

김세훈 현대자동차 상무

# PROGRAM

제133회 한림원탁토론회 – 제17회 과총 과학기술혁신정책포럼 ‘수소경제의 도래와 과제’

16:15~16:30 (15') coffee break

16:30~17:20 (50') 지정토론

- 좌 장: 유 진 한림원 공학부 정회원(KAIST)
- 토론자: 김진우 클래리베이트 애널리틱스 지사장  
류석현 두산중공업 고문  
배중면 한림원 공학부 준회원(KAIST)  
안현실 한국경제신문사 논설위원  
현영석 한남대학교 명예교수  
홍성안 GIST 석좌교수

17:20~17:50 (30') 종합토론

17:50 폐 회

# CONTENTS

제133회 한림원탁토론회 – 제17회 과총 과학기술혁신정책포럼 ‘수소경제의 도래와 과제’

I. 주제발표 1 ‘수소경제 로드맵’	1
• 김봉석 산업통상자원부 에너지신산업과 총괄팀장	
II. 주제발표 2 ‘수소 연료전지 기술 및 미래 전망’	21
• 김민수 서울대학교 교수	
III. 주제발표 3 ‘수소전기차의 미래’	39
• 김세훈 현대자동차 상무	
IV. 지정토론 (좌장: 유 진 한림원 공학부 정회원(KAIST))	55
• 김진우 클래리베이트 애널리틱스 지사장	59
• 류석현 두산중공업 고문	65
• 배중면 한림원 공학부 준회원(KAIST)	75
• 안현실 한국경제신문사 논설위원	93
• 현영석 한남대학교 명예교수	95
• 홍성안 GIST 석좌교수	107



주제발표 1

# I

## 수소경제 로드맵



## 발제자 약력

성명	김 봉 석	
소속	산업통상자원부 에너지신산업과	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
1996 ~ 2001 2016 ~ 2018	서울대학교 UC샌디에고	동물자원과학과 국제관계학 석사
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
2018 ~ 2016 2014 ~ 2016 2012 ~ 2015 2010 ~ 2011 2009 ~ 2010	에너지신산업과 산업기술시장과 무역정책과 산업기술정책과 동북아통상과 반도체디스플레이과	팀장 서기관 서기관 서기관 사무관 사무관



## 발제1 수소경제 로드맵

...

김 봉 석  
산업통상자원부 에너지신산업과 총괄팀장

# 수소경제 활성화 정책방향

2019. 2

산업통상자원부

## I. 수소경제의 의미와 중요성

- (의미) 수소를 중요한 에너지원으로 사용하고, 수소가 국가경제·사회·국민생활 전반 등에 근본적 변화를 초래하여 경제성장과 친환경 에너지의 원천이 되는 경제

< 탄소경제와 비교 >

	탄소경제	수소경제
에너지 패러다임	탄소자원(석유, 석탄, 가스 등) 중심	탈탄소화 수소 중심
	수입 의존(97%)	국내 생산으로 에너지 자립 기여
에너지 공급	대규모 투자가 필요한 중앙집중형 에너지 수급	소규모 투자로 가능한 분산형 에너지 수급
	입지적 제약이 크고 주민 수용성이 낮음	입지적 제약이 적고 주민 수용성이 높음
경쟁 양상	자원개발 및 에너지 확보 경쟁	기술경쟁력 확보 및 규모의 경제 경쟁
환경성	온실가스, 대기오염물질 배출 * CO <sub>2</sub> , NOx, SOx 등	온실가스 배출이 적어 친환경적 * 부산물 = 물(H <sub>2</sub> O)

- (중요성) 미래 성장동력, 친환경 에너지로 에너지 자립에 기여

- (성장동력) 수소의 생산, 저장·운송, 활용 등에서 새로운 산업 창출
  - (활용) 수소차, 수소선박 등 모빌리티 분야, 발전용 연료전지 등 전기·열 생산 분야에서 미래 유망 산업 육성
  - (생산, 저장·운송) 생산 기술, 저장·운송 방식, 충전소 등 인프라 산업 시장 창출, 소재·부품·시스템 수요 촉진 등
- (친환경 에너지) 에너지 소비의 탈탄소화로 온실가스 감축, 미세먼지 저감 등 청정에너지
  - 저장이 가능하여 재생에너지 활용도 제고에 기여하고, 에너지원 다각화, 에너지 해외 의존도 감소 등 에너지 자립 가능

## II. 수소경제 추진 동향

### ① 세계 수소경제 전망

- 수송용이 시장 확대를 견인하고, 연료전지로 빠르게 성장하여  
‘50년 年 2.5조달러 시장과 3천만개(누적) 일자리 창출(‘17, 매킨지)

### ② 주요국가 동향 : 선두 경쟁이 치열하나, 아직 초기단계

- (일본) 수소기본전략 채택(‘17.12) ⇨ 2050년까지의 방향성 제시
  - \* ’30년까지 목표 : 수소차 80만대, 수소버스 1,200대, 수소충전소 900개소, 가정용 연료전지 530만대, 수소 발전단가 17엔/kWh
- (독일) 재생에너지의 활용 극대화를 위해 수소경제 추진
- (중국) 중국제조 2025(‘15) 및 수소 이니셔티브 선언(‘17)
  - \* ‘중국제조 2025’에서 신에너지자동차를 핵심 사업으로 선정
    - ’30년까지 목표 : 수소차 100만대, 수소충전소 1,000개소
- (호주) 수소 로드맵 수립(‘18.8) ⇨ 수소의 수출 자원화 도모
- (미국) 캘리포니아 주와 연방정부(에너지부) 중심 민-관 파트너쉽 결성

### ③ 우리 현황 : 가능성·잠재력은 충분하나, 해결해야 할 과제도 존재

- (활용) 세계 최초 수소차 양산, 연료전지 포트폴리오 및 전문기업 보유 등 세계적 수준의 기술력 확보
- (생산) 석유화학, 정유산업 기반과 부생수소 활용 경험
- (저장·운송) 완비된 천연가스 공급망을 활용하여 전국적인 수소 공급 가능성 보유
  - ⇨ 아직 시장규모가 미미하여 적극적 시장창출로 경제성·자생력 확보, 수전해·액화·액상 등 생산·저장 기술경쟁력 제고 필요

### III. 수소경제 활성화 비전

#### < 비전 >

##### 세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약

- 수소차·연료전지 세계시장 점유율 1위 달성
- 화석연료 자원 빈국에서 그린 수소 산유국으로 진입

		2018년	2022년	2040년
목표	수 소 차 (수출) (내수)	1.8천대 (0.9천대) (0.9천대)	8.1만대 (1.4만대) (6.7만대)	620만대 (330만대) (290만대)
	연 료 전 지	발전용 (내수) 가정·건물용	307MW (전체) 7MW	1.5GW (1GW) 50MW
	수 소 공 급	13만톤/年	47만톤/年	526만톤/年 이상
	수 소 가 격	-	6,000원/kg	3,000원/kg

추진 전략	기본 방향	전주기 안전성 확보	활용 저장 운송 생산	증소·증견 산업생태계 조성						
	추진 전략	'18 → '22 → '30 → '40	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>수소경제 준비기</div> <div>수소경제 확산기</div> <div>수소경제 선도기</div> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 수소산업생태계 조성</li> <li>■ 제반 인프라 구축 및 법·제도적 기반완비</li> <li>■ 수소이용 비약적 확대</li> <li>■ 대규모 수요·공급 시스템 구축</li> <li>■ 해외 수소 생산 및 수전해 본격화</li> <li>■ 탄소프리 수요·공급 시스템</li> </ul>							
	민관 역할 분담	<table border="1"> <tr> <td>정부</td> <td>■ 지원 및 규제완화 ■ 대규모 인프라 투자</td> <td>■ 산업생태계 보완 ■ 국제표준 선점</td> <td>■ 수소사회 이행 ■ 국제 리더십 확보</td> </tr> <tr> <td>민간</td> <td>■ 핵심기술 내재화 ■ 투자확대</td> <td>■ 상업적 생산 체계구축 ■ 수소 비즈니스플랫폼 구축</td> <td>■ 민간 주도 시장 확대 ■ 글로벌 시장 선도</td> </tr> </table>	정부	■ 지원 및 규제완화 ■ 대규모 인프라 투자	■ 산업생태계 보완 ■ 국제표준 선점	■ 수소사회 이행 ■ 국제 리더십 확보	민간	■ 핵심기술 내재화 ■ 투자확대	■ 상업적 생산 체계구축 ■ 수소 비즈니스플랫폼 구축	■ 민간 주도 시장 확대 ■ 글로벌 시장 선도
정부	■ 지원 및 규제완화 ■ 대규모 인프라 투자	■ 산업생태계 보완 ■ 국제표준 선점	■ 수소사회 이행 ■ 국제 리더십 확보							
민간	■ 핵심기술 내재화 ■ 투자확대	■ 상업적 생산 체계구축 ■ 수소 비즈니스플랫폼 구축	■ 민간 주도 시장 확대 ■ 글로벌 시장 선도							

## IV. 수소경제 활성화 추진방안

### ◆ 강점이 있는 수소차·연료전지를 양대 축으로 수소경제 선도

■ 모빌리티, 에너지 등 수소 활용 가속화																	
활용	<p><b>모빌리티</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❶ 수소차 양산체계 구축 및 보급 확대</li> <li>❷ 수소 택시·버스 등 대중교통 전환</li> <li>❸ 공공부문 수소 트럭 활용</li> <li>❹ 수소충전소 전국 확대 및 자생력 확보</li> <li>❺ 선박, 열차, 드론 등 기타 활용분야 확대</li> </ul> <p><b>에너지</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❶ 발전용 연료전지 보급 확산 및 수출산업화</li> <li>❷ 가정·건물용 연료전지 확대</li> <li>❸ 수소가스터빈 기술개발 및 상용화</li> </ul>																
생산	<p><b>Grey 수소</b></p> <p>부생수소 활용 및 대규모 추출수소 생산</p> <p><b>Green 수소</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❶ 수전해 대량 생산 및 경제성 확보</li> <li>❷ 해외 CO<sub>2</sub> free 수소 본격 도입</li> </ul>																
■ 안정적이고 경제성있는 수소 유통 체계 확립																	
저장·운송	<p><b>저장</b></p> <p>고압기체 외에 고효율 액체·액상·고체 저장으로 다양화</p> <p><b>운송</b></p> <p>파이프라인 전국망 구축, 수소운반선 등 대규모 유통 추진</p>																
■ 수소안전에 대한 국민 인식 제고 및 수소 전주기 안전관리 체계 확립																	
산업생태계	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">기술혁신</td><td style="width: 25%;">범부처 기술로드맵 수립</td><td style="width: 25%;">전문인력</td><td style="width: 25%;">안전 및 핵심기술인력 양성</td></tr> <tr> <td>표준화</td><td>글로벌 수소 표준 선점</td><td>기반조성</td><td>수소경제 이행 기반 구축</td></tr> <tr> <td>법적기반</td><td>수소경제법·안전법 완비</td><td>국제협력</td><td>선도국가로 적극 참여·주도</td></tr> <tr> <td>수출산업</td><td>대·중소기업 동반진출</td><td>생태계</td><td>촘촘한밸류체인 구축</td></tr> </table>	기술혁신	범부처 기술로드맵 수립	전문인력	안전 및 핵심기술인력 양성	표준화	글로벌 수소 표준 선점	기반조성	수소경제 이행 기반 구축	법적기반	수소경제법·안전법 완비	국제협력	선도국가로 적극 참여·주도	수출산업	대·중소기업 동반진출	생태계	촘촘한밸류체인 구축
기술혁신	범부처 기술로드맵 수립	전문인력	안전 및 핵심기술인력 양성														
표준화	글로벌 수소 표준 선점	기반조성	수소경제 이행 기반 구축														
법적기반	수소경제법·안전법 완비	국제협력	선도국가로 적극 참여·주도														
수출산업	대·중소기업 동반진출	생태계	촘촘한밸류체인 구축														

## ① 수소 활용 : 세계 최고 수준의 수소차 보급 및 연료전지 활용 확대

### 가. 수소 모빌리티

구 분		2018	2022	2040
수 소 차	전체	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 (290만대)
	승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
	택시			12만대 (8만대)
	버스	2대 (전체)	2천대 (전체)	6만대 (4만대)
	트럭			12만대 (3만대)
수소충전소		14개소	310개소	1,200개소

'25년 年 생산량 10만대 달성  
(상업적 양산 개시)

\* ( ) : 내수

### □ 수소차

#### ① 수소승용차 : 누적 기준 ('22) 6.5만대 → ('40) 275만대

\* '19년 신규 4,000대 보급예정

현재 5,000대 계약(매일 30여대 계약중), 일평균 25대 출고(10월이후 50대이상)

< '22년까지 수소승용차 보급 계획 >

구분	'18	'19	'20	'21	'22	누적
수소승용차(천대)	0.7	4	10.1	20	30	65

- '19년 구매보조금 900억원 既 확보 (수소차 1대당 국비 2,250만원)

- 추경, 예비비 등을 활용하여 '19년 보급 확대 검토

\* '19년 총생산 Capa : 6,300대(내수 5,500, 수출 800)

○ 조기 양산능력 확보\* 및 핵심부품 100%\*\* 국산화

\* ('18) 1천대 → ('22) 年 3.5만대 → ('25) 年 10만대(내연기관차 수준 가격 확보)

\*\* 막전극접합체, 기체확산층, 공기압축기, 수소탱크 등

**② 수소버스 : ('19) 7개 도시 35대 → ('22) 2천대 → ('40) 4만대**

< 수소버스 보급 계획 >

구분	'18	'19	'20	'21	'22	누적
수소버스(대)	2	35	300	665	1,000	<b>2,000</b>

\* '19년 7개 도시(35대) : 서울(7), 부산(5), 울산(3), 광주(6), 창원(5), 아산(4), 서산(5)

\* 대당 8.3억원(환경부 2억원, 지자체 2억원, 현대차 2억원, 국토부 1억원, 운수사 1.3억원)

\* '19.4월 창원 3대 보급을 시작으로 순차적으로 확대 추진

- '19년 중 경찰버스 2대 개발 완료 후 '20년 말까지 실증

**③ 수소택시 : ('19) 시범사업(서울, 10대) → ('21) 주요도시 30~40대  
→ ('23) 전국으로 확대**

\* 현재 운수사업자 선정 및 운행 노선 검토중 (7월 사업개시)

**④ 수소트럭 : ('19) 중·대형 트럭 개발**

\* '19년부터 대형트럭(11톤급) 수출 : '22년까지 총 1,000대

('19) 20대 → ('20) 30대 → ('21) 140대 → ('22) 350대 → ('23) 460대

**□ 수소충전소 : ('18) 14개 → ('22) 310개 → ('40) 1,200개**

**○ 설치(누적) : ('18) 14기 → ('19) 86기 → ('22) 310기**

\* '18년 既 구축 14기 + '18년 이월 29기 + '19년 신규 43기 구축

- 既 구축 및 이월 : 서울(4), 경기(7), 인천(3), 부산(2), 광주(5), 경남(5), 울산(8), 대전(2), 충남(3), 강원(2), 경북(1), 전남(1)

\* 구축모델 : 현대차 100%, 환경부(50)+지자체(50), 환경부(50)+민간(50) 등 다양

- 신규 43기 : 환경부 30기(지자체 20 + 민간 10기), 국토부 13기

\* 환경부 : 2월 중 공고 예정(민간 10기는 통합 일괄발주)

국토부 : 고속도로 휴게소 10개 및 주요 교통거점

○ 민간 수소충전소 SPC (HyNet) 설립 : 2월

< HyNet 수소충전소 설치 계획 >

구분	'19	'20	'21	'22	누적
설치개소(기)	20	30	35	15	100

\* 설치가능 부지 : 총 319개소를 조사하여 121개 적합부지 확보

- CNG충전소(51개), LPG충전소(47개), 주요소(48개)

○ 규제샌드박스 활용 국회 수소충전소 설치 착공 : 2월 말

○ 규제개선 과제 추진

세부과제	완화내용	소관	일정
▶ 수소충전소 설치시 철도로부터 30m 이격거리 완화	연구용역으로 안전성 검증 후 규제완화 (고압가스법 시행규칙)	산업부	'19.3
▶ 국·공유지 내 친환경차 충전소 설치시 수의계약 허용	국·공유재산 임대시 수의계약 허용, 임대료 경감 (친환경자동차법)	산업부	'19.3
▶ 수소차 운전자 셀프충전 허용 방안 마련	연구용역 및 업계 의견수렴 후 규제완화 (고압가스법)	산업부	'19.3
▶ 수소운반용기(Type4) 기준 개선	충전압력(35→45Mpa)과 내부용적(150→450L) 상향 (KGS 코드제정)	산업부	'19.4
▶ 수소충전소(3,000m <sup>3</sup> 초과)를 도시 계획 시설 결정 없이 설치	도시계획시설 결정 없이 수소충전소 설치 허용 (국토법 시행규칙)	국토부	'19.6
▶ 준주거·상업시설 내 수소충전소 설치 허용	지자체 협의 등을 통해 준주거·상업지역지 제한 완화 추진 (국토법 시행령)	국토부	'19.6
▶ 수소충전소 안전관리자 자격 요건 개선	가스기능사 외 양성교육 이수자도 허용 (고압가스법 시행령)	산업부	'19.6

○ 설치보조금(환경부 15억원, 국토부 7.5억원) 외 운영보조금 지원 검토

수소 선박, 열차, 드론, 건설기계 등도 기술개발·실증 등을 통해 상용화 추진 및 미래 유망 품목으로 육성

## 나. 수소에너지 (전력 및 열)

구 분	'25년 중소형 가스터빈 Parity 달성		
	현재	2022	2040
발전용 연료전지	307.6MW	1.5GW (1GW)	15GW (8GW)
가정·건물용 연료전지	7MW	50MW	2.1GW

\* ( ) : 내수

□ **발전용 연료전지** : 설치 확대 → 경제성 확보 및 수출 산업화

- ('18) 307MW → ('19) 444MW → ('22) 1GW → ('40) 8GW 보급  
으로 설치비 35% 및 발전단가 50% 하락 유도

< 발전용 연료전지 보급 계획(안) >

단위 : MW	2018	2019	2020	2021	2022
누계	307	443.6	593.6	783.6	1,000
신규		136.6	150	190	216.4

\* '18년까지 포스코에너지 : 182MW, 두산 : 125MW 보급

- '19년 신규 137MW : 발전사, 지역난방공사 등을 중심으로 설치
  - \* 지역난방공사(동탄) 11MW, 남부발전(인천) 20MW, 서부발전(인천) 18MW, SK E&S(강동) 20MW 등
- '25년에는 중소형 가스터빈 발전단가와 대등한 수준 도달
  - \* 현재 중소형 가스터빈 발전단가 : 190원/kWh ~ 200원/kWh
- '22년까지 수입소재를 제외한 핵심부품 100% 국산화
- 연료전지 전용 LNG 요금제 신설, 그린 수소 활용시 REC 우대, 장기고정가격계약 제도 도입 등을 통해 경제성 확보 지원
- **연료전지 전용요금제**(5월 시행 예정) : 현행 대비 15% 가격인하
  - \* 현재 14.14원/MJ(열병합용) → 12.02원/MJ(발전시설중 가장 저렴)
    - 산업용 13.46원/MJ, 수송용 13.36원/MJ, 일반발전용 13.60원/MJ, 집단에너지용 13.27원/MJ
  - \*\* 연료전지 발전단가 경제성 개선 효과 : '19년 총354억원(2억원/2.5MW)

**가정·건물용 연료전지** : 분산전원, 친환경성 등 장점 활용

- ('18) 7MW → ('19) 13.5MW → ('22) 50MW으로 보급 확산
  - '19년 6.5MW 설치(신규) : 공공기관 설치의무화 5MW, 주택 설치 보조 0.4MW, 건물 설치보조 1.1MW
    - \* 설치보조금(KW) : 주택 23.4백만원→18.7백만원, 건물 22.4백만원→18.6백만원
      - 2월중 공고를 통해 신청접수 후 총설치비의 약70%지원
- 주택·건물 등의 난방용, 병원·데이터센터 등의 비상전원용 확대
- 전기요금 특례제도 연장, 공공기관 설치 의무화 제도 등 시장창출 지원 방안 검토
- 연료전지 대여사업, 중개사업 등 새로운 비즈니스 확산 및 설치 장소와 사용 유형별로 다양한 모델 출시 지원
  - \* (가정) 1kW → 700W 경량화 모델, (건물) 모듈화, 대용량(10kW → 25kW) 등

**가스터빈** : 수소 혼소(대형), 수소 전소(소형) 등 기술개발·실증을 통해 '30년 이후 상용화 발전 추진'

## ② 수소 공급 : 안정적·보편적 공급 시스템 확충

### 가. 수소 공급

구분	현재	2022년	2030년	2040년
구성	①부생수소 ②추출수소	①부생수소 ②추출수소 ③수전해	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 50%, ② : 50%	①부생수소, ②추출수소 ③수전해, ④해외생산 ※ ①+③+④ : 70%, ② : 30%
	-	수도권 인근 대규모 생산	해외 수소 활용	CO <sub>2</sub> free 수소 대량 도입
공급	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/年

**(부생수소) 석유화학 기반을 활용하여 부생수소를 안정적으로 공급**

- 총 164만톤 생산 후 141만톤은 자체소비, 외부 활용은 23만톤 규모
- **여유 생산능력 : 약 5만톤** (수소차 25만대에 필요한 수소량)

**(추출수소) 수소경제 초기의 핵심 공급원으로 대량공급 기반 마련**

- LNG 공급망, 수요처 인근 등에 규모별 수소생산기지 구축('19~)
  - 천연가스 공급망과 연계하여 ①거점형 대규모 생산기지\*(1기) 및 ②분산형 생산기지\*\*("3기) 구축
- \* 가스공사 자체 사업으로 정압관리소 인근에 우선 설치
- \*\* 수요처 인근 도심지 CNG 충전소 등에 300Nm<sup>3</sup>/h급(수소생산량 500kg/일) 규모
- **수소추출기 국산화 및 효율 제고, 바이오매스 활용 수소 생산 등 추출수소 생산방식 다양화**

**(수전해) 재생에너지 활용 수전해 상용화를 통해 그린 수소 생산 및 재생에너지 이용 확대 도모**

- '22년까지 MW급 재생에너지 연계 수전해(P2G) R&D 및 실증 추진
  - \* 수전해 수소의 대용량 장기 저장기술, 수전해 효율 및 경제성 향상 기술개발 등
- 해상풍력, 태양광 등 대규모 재생에너지 발전단지와 연계한 그린 수소 생산 추진

**(해외 수소생산·수입) 재생에너지, 갈탄 등을 활용한 해외 수소 생산 거점을 마련하고, 생산된 수소를 국내 도입('30~)**

- \* 효과 : 안정적 수소 공급과 가격안정, 국내 온실가스 감축, 수소운반선 등 관련 산업 육성에 기여

## 나. 수소 저장·운송

구분	현재	2022년	2030년 이후
튜브 트레일러	500대	대규모 기체 저장·운송	액화, 액상 및 고체 수소 저장·운송
파이프라인	200km	부생수소 거점(울산, 여수, 대산) 인근에 수소파이프라인 구축	전국 단위의 고압용 수소 파이프라인 구축 검토
추진방향	-	수요처 중심 공급 기반 구축	전국 단위 공급 인프라 구축

### □ (수소저장) 저장방식 다양화·고도화

- (기체) 저압 → 고압 및 용량기준 상향으로 효율성 제고
- (액화) 대량 저장·운송에 필요한 액화수소\* 핵심기술 개발을 통해  
경제성 제고
  - \* 수소를 극저온(-253°C) 상태로 액화, 저장밀도가 높아 대용량 수송 가능
    - 기체 대비 부피 1/800, 운송비용 1/10
- (액상·고체) 상온·상압 수준에서 수소를 안전하고 대량으로  
저장·운송할 수 있는 액상·고체 저장 기술개발

### □ (수소운송) 효율성·경제성 확보

- (튜브트레일러) 기체 운송에서 고압, 액상·액화 운반으로 확대
  - 경량화, 고압용기(700bar) 등을 통해 운송비 절감 및 공급 가능지역 확대
- (파이프라인) 주요 수요처 인근 설치 후 전국적으로 확대
  - 주요 수요처에 파이프라인을 우선 설치 → LNG 생산기지, 수소 인수  
기지 등 대규모 공급 배관망 확대 → 전국망으로 확대
- 액화·액상 기술개발과 연계하여 장기적으로 탱크로리 활용 추진

### ③ 수소경제 생태계 조성

- (기술경쟁력) 관계부처 공동으로 **기술개발 로드맵 수립·추진**
- 범부처 수소 기술로드맵 : 수소차·연료전지 핵심부품, 생산 및 저장·운송분야 원천기술부터 실증·상용화 기술개발 (범부처 협력 예타 추진)
    - 산업부·과기부 공동으로 민관합동 T/F를 구성·운영(2월)
      - \* 수소 생산, 운송·저장, 수소차, 연료전지 등 4개 분야에 산업계, 출연研, 대학 등 100여명 참여
    - **8월까지 수립 완료** 및 하반기에 예비타당성 조사 신청
  - 안전관리 및 핵심기술개발 전문인력 양성
  - 수소 제조·저장용기·충전시스템, 연료전지 분야 국제표준 선점 및 국제표준화 활동 적극 추진

- (법·제도) 수소경제 활성화 지원 「수소경제법(가칭)」 제정, 수소 경제 추진위원회(위원장 : 국무총리) 및 범부처 추진단 구성·운영\*

\* 우선 산업부 자체 추진, 향후 관계부처 협의를 거쳐 범부처 지원체계로 확대 검토

< 범정부 수소경제 이행체계(안) >

추진체계		주요역할
①수소경제 추진위원회	구성	- 국무총리(위원장), 관계부처 장관 * 산업부, 기재부, 국토부, 환경부, 과기부 등
	기능	- 수소경제 로드맵 컨트롤 타워 - 주요 이행상황 점검 및 부처간 협의·조정
	운영	- 1차 회의 개최(3월중) - 수소경제법 제정 연계 법정 위원회 추진
②범부처 수소경제 이행 협의체	구성	- 산업부 차관(위원장) 및 관계부처 국장
	기능	- 관계부처 쟁점사항 조정 및 협의
	운영	- 1차 회의 개최(2월중) 및 분기별 개최
③산업부내 수소경제 실무지원단		- 산업부 및 유관기관 직원 등으로 구성 - 로드맵 이행 실무지원

- 「수소경제법」 및 「수소안전법」이 다수 발의된 상태로 연구용역(법제연구원), 토론회(2월) 등을 통해 정부대안 마련(3월)
  - \* 수소경제법(이원욱, 이채익, 김규환, 윤영석), 수소안전법(전현희, 박영선)
- 수소산업 육성 전문기관 및 수소유통센터 설치 검토(중장기), R&D·실증 중심 수소산업 클러스터 조성, 수소도시 구축 등 추진
  - 클러스터 내에 수소 생산, 저장·운송, 인프라를 구축하고 기업·연구소 공동 R&D 및 대규모 실증
  - 실증단지 설계를 위한 타당성 검토 R&D 추진(16억원, '19.3~'19.12)
- (중소·중견기업 육성) 수소차·연료전지 분야 소재·부품 협력업체 R&D·인력 지원, 설비투자 및 운영 자금지원, 대·중소 상생협력 프로그램 확대 등
- (국제협력) 민관 글로벌 수소경제 협력 네트워크 구축, 재생에너지·갈탄 활용 해외수소 생산거점 구축 협력, 국제 기술협력 확대 등

#### ④ 수소경제 안전성 확보

- (법 제정) 국민들이 안심하고 사용중인 천연가스 수준의 안전성을 확보할 수 있도록 수소산업 안전관리에 대한 법적 근거 마련('19)
- (안전기준 강화) 수소충전소, 부품, 시스템 등에 국내 안전기준을 국제기준에 맞게 제·개정
  - 향후 수요 증가가 예상되는 P2G, 액화수소 등의 안전기준 마련
  - 수소산업 전 주기 안전성 제고를 위한 기술개발과 성능 평가 지원
- (인식 제고) ‘수소안전 가이드북’ 배포, ‘수소의 날’ 지정, ‘수소 안전 체험관’ 등 국민이 체감할 수 있는 수소 안전 홍보 추진

## V. 수소경제의 미래 모습

### 개인 수소를 쓰는 생활 (Homo Hydrogenus)

✓ 수천년간 의존해 온 화석연료에서 벗어나  
수소를 주요한 에너지원으로 사용

#### 수소승용차 275만대

- '18년 전체 승용차의 15%  
(서울시+세종시 승용차 규모)

#### 가정용 연료전지 600MW

- 전체 94만 가구 보급  
('17년 서울시 가구수의 25% 규모)  
('17년 대구 전체 가구수 규모)

### 사회 도심 청정 교통 인프라

✓ 탄소배출 대중교통 시스템이  
 $\text{CO}_2$  free 청정 수소로 패러다임 전환

#### 수소택시 8만대

- '18년 전체 택시의 약 33%  
(서울시 택시 규모)

#### 수소버스 4만대

- '18년 국내 전체 노선버스의 85% 이상

#### 수소트럭 3만대

- '18년 국내 관용 화물차 전체 수준

#### 미세먼지 연간 2,373톤

- '15년 수송용(도로) 미세먼지 배출량의 6.1%

## 산업 · 경제      새로운 에너지이며 성장의 원천

✓ 수소가 저소비형 친환경 에너지원이면서  
부가가치와 일자리 창출의 새로운 성장 동력

### 고용창출 42만명

- '18년 자동차 산업 고용인원의 75%

### 경제효과 43조원

- '17년 우리나라 GDP의 2.5% 이상

### 수소로 생산한 에너지 10.4백만TOE

- '40년 최종 소비에너지 중 약 5%
- '16년 국내 천연가스 최종소비의 40% 이상  
(가정에서 사용하는 천연가스 소비 규모)

### 온실가스 감축 2,728여만톤

- 500MW급 석탄 발전 9기의 온실가스 배출량 수준

### 발전량 55,949GWh

- '17년 국내 전체 발전량의 10% 이상

주제발표 2

## II

# 수소 연료전지 기술 및 미래 전망



## 발제자 약력

성명	김민수	
소속	서울대학교	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
1981 ~ 1985	서울대학교 공과대학	기계공학과, 공학사
1985 ~ 1987	서울대학교 대학원	기계공학과, 공학석사
1987 ~ 1991	서울대학교 대학원	기계공학과, 공학박사
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
2017 ~ 현재	한국공학한림원	정회원
2015 ~ 현재	서울대학교 공과대학 미래안보전략기술최고위과정	주임교수
2015 ~ 2018	한국산업기술시험원	비상임이사
2014 ~ 현재	히트펌프산업포럼	공동의장
2013 ~ 2014	국가과학기술심의회 주력기간전문위원회	전문위원
2013 ~ 2014	대학산업기술지원단(UNITEF)	단장
2011 ~ 현재	국제냉동기구한국위원회	회장/대표이사
2011 ~ 2013	서울대학교 공과대학	기획부학장
2011 ~ 2013	국가과학기술위원회 주력기간전문위원회	전문위원
2011 ~ 2012	국가교육과학기술자문회의	수석전문위원
2010 ~ 2010	교육과학기술부	장관정책보좌관
2004 ~ 현재	서울대학교 대학원 기계항공공학부	교수
2001 ~ 2001	미국 국립표준기술연구원, (NIST, National Institute of Standards and Technology)	Visiting Professor
2000 ~ 2004	서울대학교 대학원 기계항공공학부	부교수
2000 ~ 2000	Université Paris Nord, LIMHP, France	방문교수
1999 ~ 1999	CNR, ITeF, Italy	방문교수
1998 ~ 2000	서울대학교 공과대학 기계공학과	부교수
1994 ~ 1998	서울대학교 공과대학 기계공학과	조교수
1992 ~ 1994	National Institute of Standards and Technology (NIST), U.S.A.	Guest Researcher
1991 ~ 1992	서울대학교 터보동력기계연구센터	연수연구원
1991 ~ 1992	서울대학교 공과대학 기계공학과	시간강사



## 발제 2 수소 연료전지 기술 및 미래 전망

• • •

김 민 수  
서울대학교 교수

### 수소연료전지 기술 및 미래전망

2019. 2. 18.

한림원탁토론회



김 민 수



서울대학교 기계항공공학부 교수

## 발표 목차

1. 국제 환경 규제

2. 세계 수소경제사회 동향

3. 국내 수소경제사회 동향

4. 수소경제사회를 위한 기술

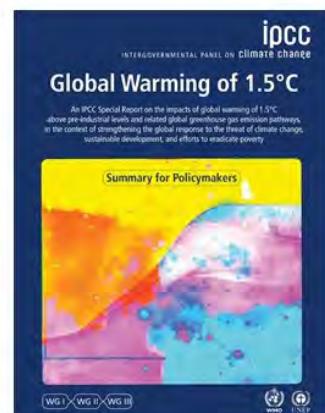
5. 수소경제사회의 전망

2/25

## IPCC 2018

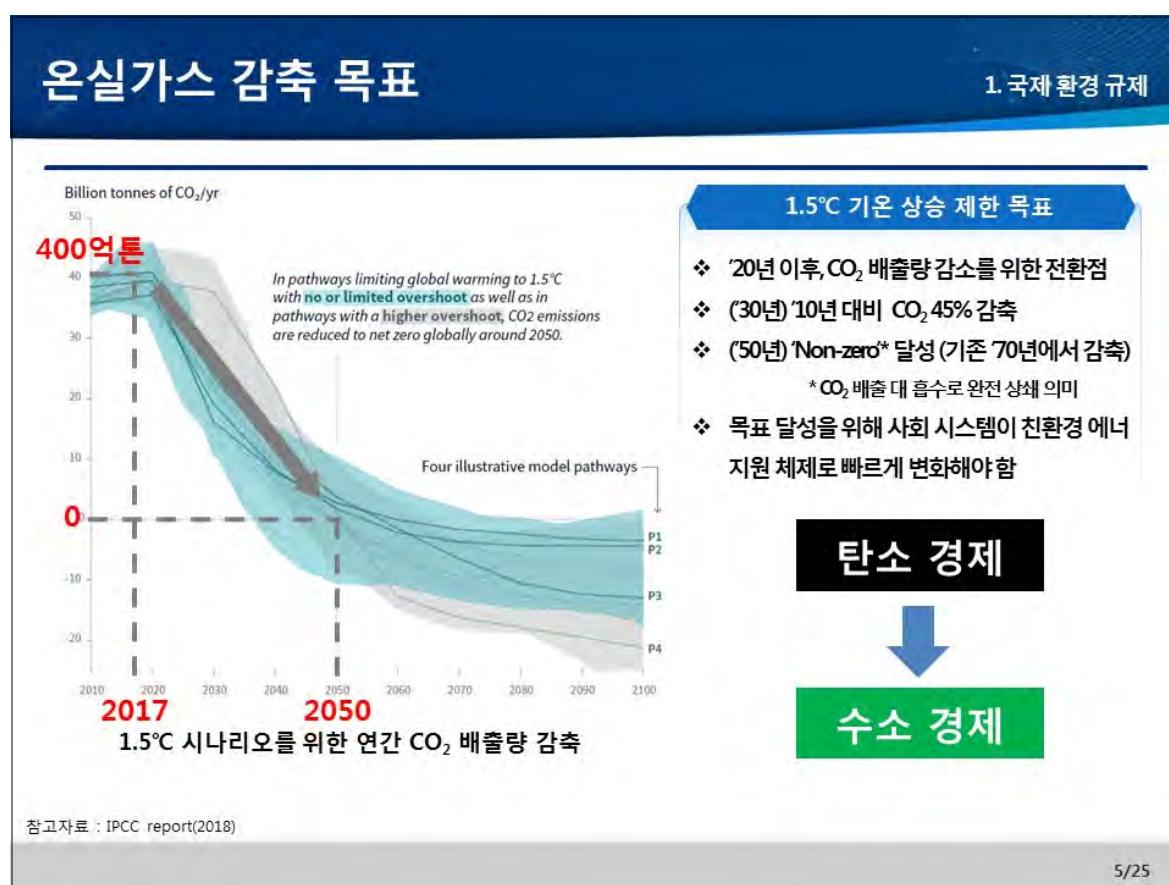
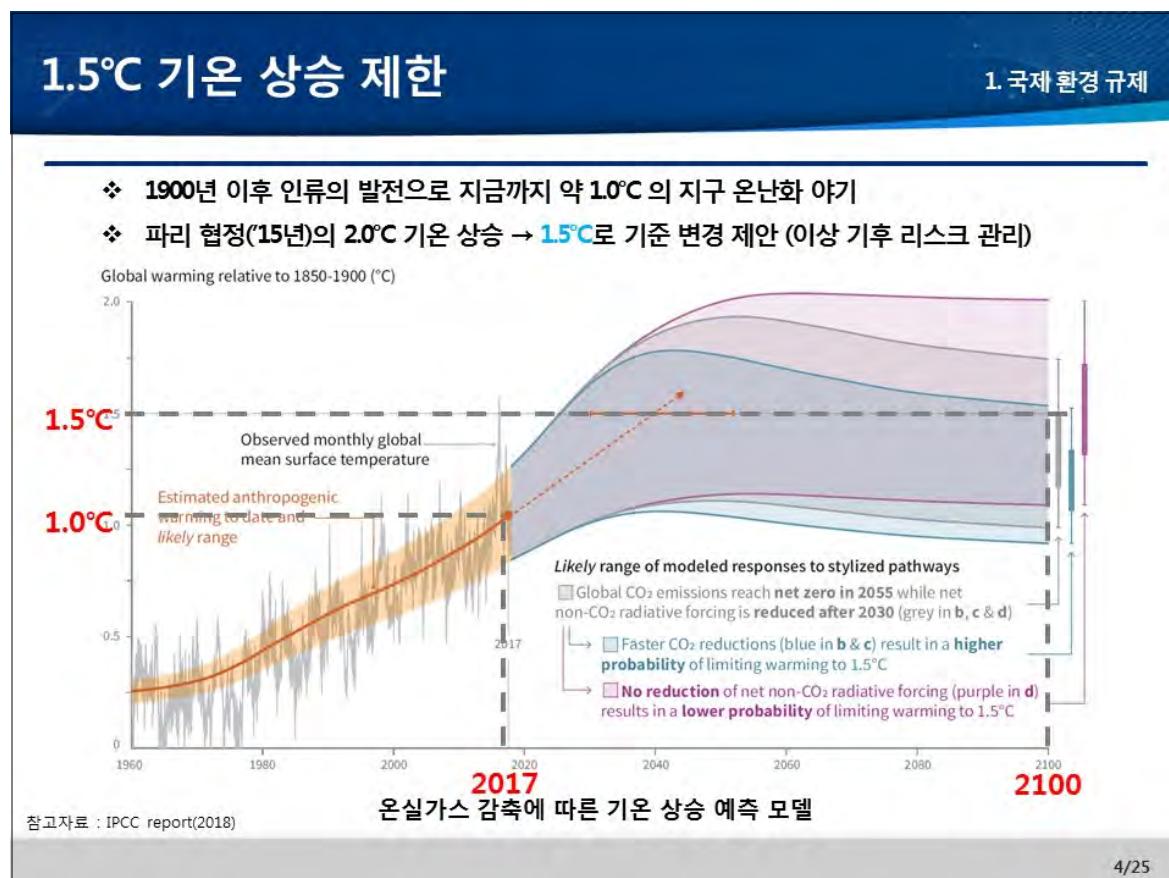
1. 국제 환경 규제

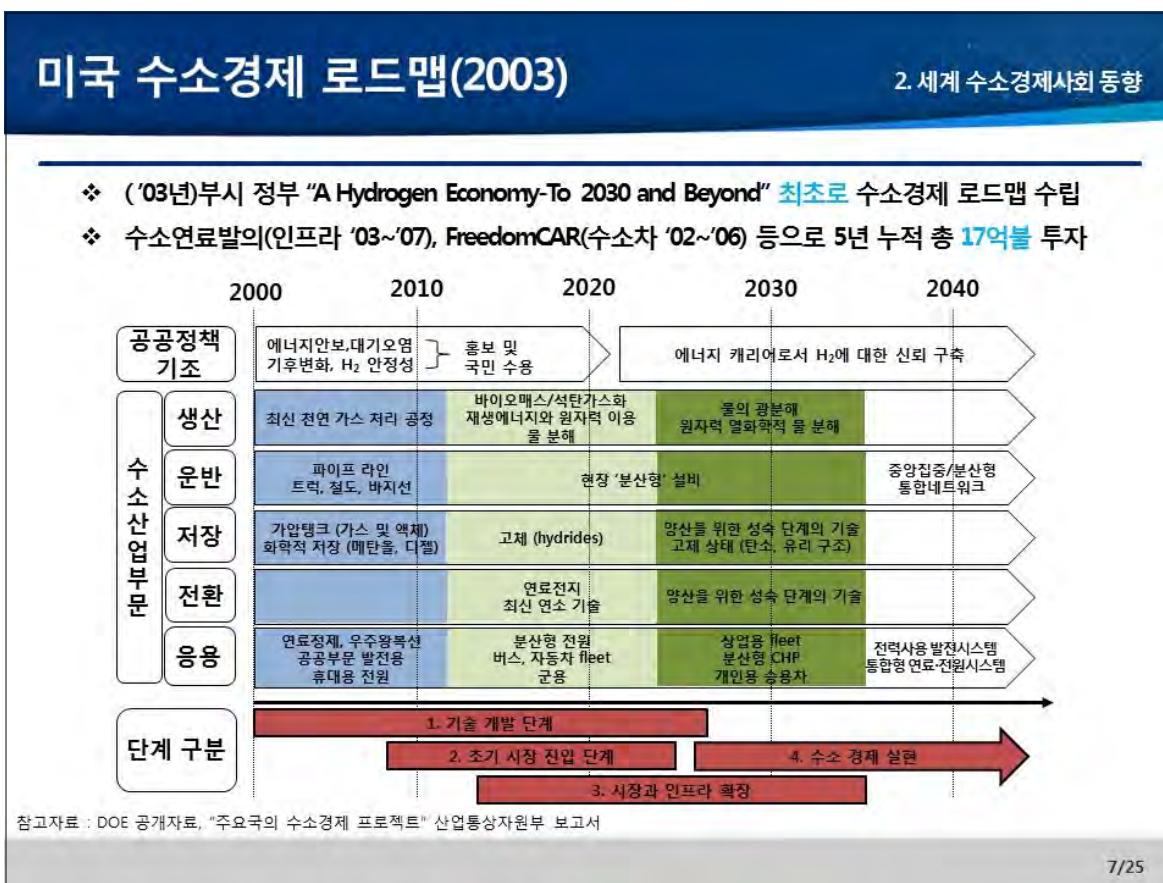
- ❖ ('18.10, 인천) IPCC Special Report Global Warming of 1.5°C 챕터
- ❖ 기후변화에 대한 과학적인 평가를 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 '88년 공동 설립

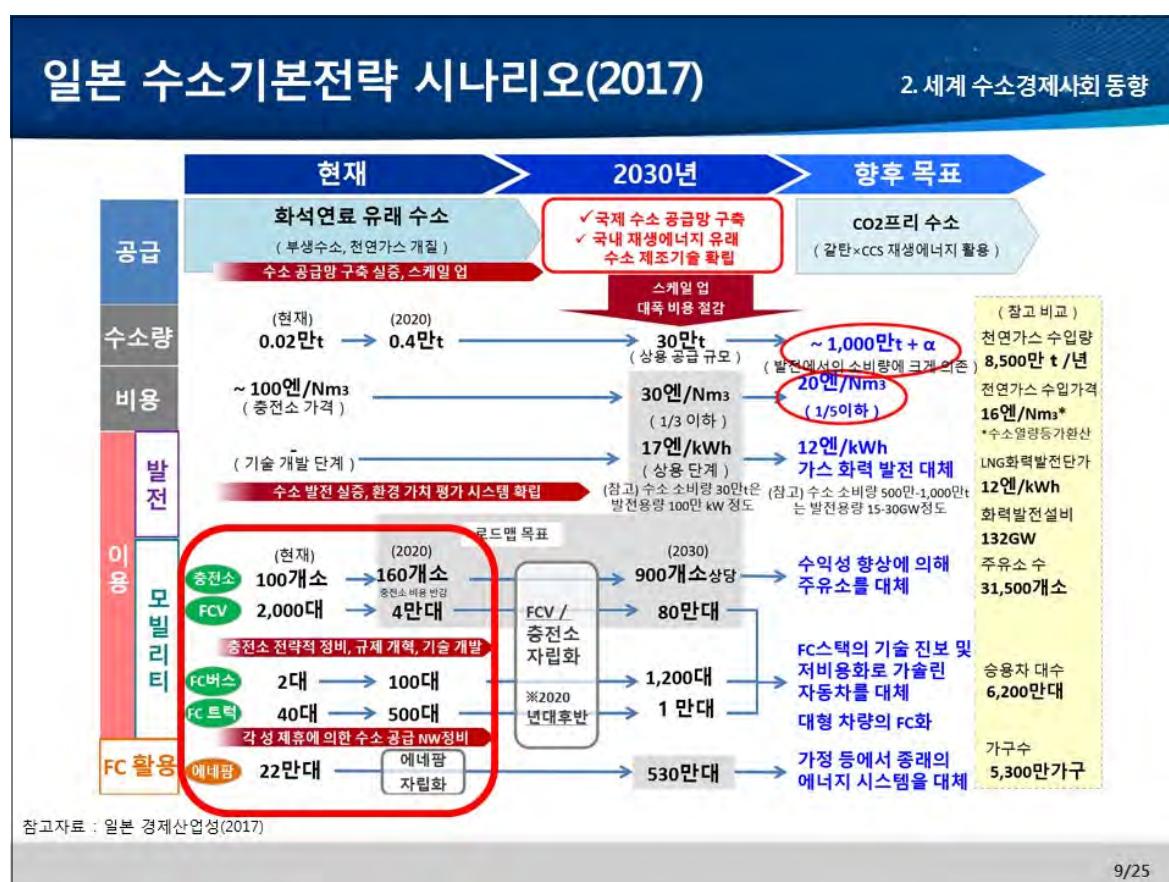


IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)  
참고자료 : IPCC report(2018)

3/25







## 수소경제 로드맵 발표(2019)

3. 국내 수소경제사회 동향

문재인 정부 수소경제 로드맵 발표 ('19년 1월17일, 울산)

- ‘18년 산업혁신2020플랫폼에 이은 현 정부 수소 관련 산업 육성 정책 발표
- 수소차와 연료전지를 양대 축으로 수소 경제를 선도할 산업생태계 구축
- 수소 생산 및 공급 시스템 조성, 수소충전소 확충, 수소차 보급, 발전용 연료전지 보급 등



주요 기업 포함 14개 기관 고용투자 협약 체결

참고자료 : 미디어펜 보도자료

10/25

## 수소경제 로드맵 주요 내용

3. 국내 수소경제사회 동향

‘18년

수소경제  
준비기

‘22년

수소경제  
확산기

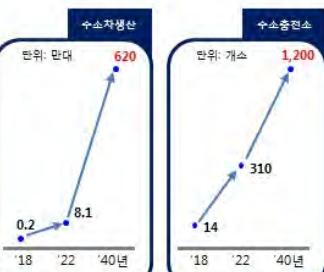
‘30년

수소경제  
선도기

‘40년

수소모빌리티: 620만대, 1200개소

- (25년) 양산 체계 → 가격 하락  
※ 내연기관차 수준의 가격 목표
- SPC 확대 → 민간주도 충전소 확대  
※ SPC: Special Purpose Company



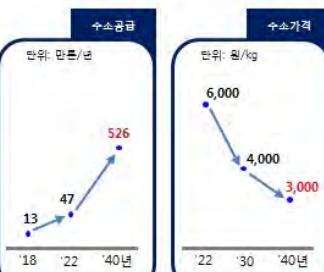
수소에너지: 연료전지 발전용 15 GW

- (25년) LNG 발전 수준 가격 하락  
※ 설치비 65%, 발전단가 50% 하락
- 신축 건물 연료전지 의무화 검토



수소 생산: 연 526만톤, 3000원/kg

- (22년) P2G 기술 확보  
※ 신재생에너지 - 수전해 생산 연계
- 수전해, 해외 생산으로 공급  
※ 대량 공급으로 가격 하락 유도



참고자료 : 산업통상자원부 보도자료(2019)

11/25

## 수소경제 활성화 로드맵

### 3. 국내 수소경제사회 동향

활용	구 分		2018년		2022년		2030년		2040년	
	수소차	승용차	1.8천대 (0.9천대)	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	7.9만대 (6.5만대)	< 2023 > 전기차 가격수준	< 2025 > 상업적 양산 (# 10천대 생산) 내연차 가격수준	< 2030 > 수 차종 생산라인 구축	620만대 (290만대)
모빌리티	버스	2대	2천대					80만km 이상 내구성 확보	6만대 (4만대)	
	택시	-	<2019> 10대 시범사업	< 2021 > 주요 대도시 적용	-	전국 확대		50만km 이상 내구성 확보	12만대 (8만대)	
	트럭	-	5톤 트럭 출시	10톤 트럭				핵심부품 100% 국산화	12만대 (3만대)	
	수소충전소	14개소 (1,000만원/kg)		310개소				300만원/kg 핵심부품 100% 국산화	1,200개소	
	선박, 열차, 드론, 기계 등		R&D 및 실증				'30년까지 상용화 및 수출			
에너지	연료전지	307MW 7MW	< 2019 > 천연 LNG 요금제 신설	< 2022 > 설치비 380만원/kW	1.5GW 50MW		< 2025 > 중소형 가스터빈 발전단가 수준	< 2040 > 설치비 35% 발전단가 50%	15GW 2.1GW	
	발전용 가정·건물용			설치비 170만원/kW				설치비 600만원/kW		
	수소가스터빈		R&D			실증		'30년 이후 상용화	추진	
수소 공급	수소공급량	13만톤/년		47만톤/년					526만톤/년	
	생산방식	화석연료 기반 부생수소 추출수소	수요처 접근 대규모 생산	수전해 활용						그린 수소 활용 (수전해+해외생산)
	수소가격	-		6,000원/kg (원 휘발유의 50%)			4,000원/kg		3,000원/kg	

참고자료 : 산업통상자원부 보도자료(2019)

12/25

## 수소경제 예산안

### 3. 국내 수소경제사회 동향

#### 산업혁신2020 플랫폼

- ❖ 주요 (~22년) 수소 관련 산업생태계 구축을 위해 누적 총액 약 2.6조원 지원(18.6 산업부)
- ❖ 수소차 (~'22년) 주요 부품 및 소재 연구개발비 1,250억원 지원
- ❖ 충전소 (~'22년) SPC주도 충전소 310개소 설치 목표를 위해 총 1,500 억원 투자  
※ 현대차, 한국가스공사 포함 13개 기업 참여로 Special Purpose Company(SPC) 'HyNet' 출범 협약
- ❖ 공급 (~'19년) 수소유통센터, P2G시스템 실증사업 → 안정적인 수소 공급 체계 마련  
※ P2G: Power to Gas 의 명칭으로 신재생에너지 잉여전력–수소 간 전환

#### '18년~'22년 연도별 민관 투자 계획

연도	'18년	'19년	'20~'22년
투자 금액(억원)	1,900	4,200	20,000 (2조원)
주요 프로젝트	• 수소충전소 민간 SPC 설립	• 실증용 수소버스 제작 • 버스용 수소저장용기 출시 • 국산 CNG개질장치 양산	• 수소차 생산공장 증설(20) • 스택공장 증설(21) • 패키지형 수소충전소 양산
일자리 창출(명)	400	480	2,920

참고자료 : 산업통상자원부 보도자료(2018)

13/25

## 수소에너지 응용 예

4. 수소경제사회를 위한 기술



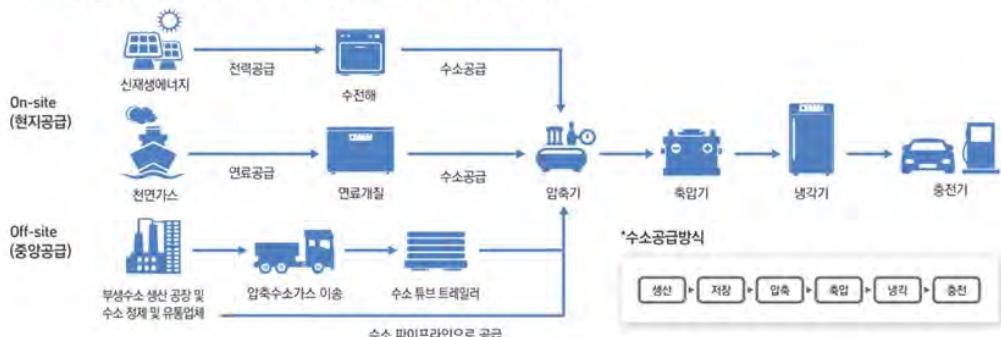
14/25

## 수소 생산 기술

4. 수소경제사회를 위한 기술

### 부생수소 활용 전략

- ❖ **개념** 화학 공정 중 발생한 수소를 이용하는 기술
- ❖ **공급** 울산·여수 등 석유화학, 제철 단지의 부생수소를 파이프라인 및 트레일러로 공급
- ❖ **생산** ('16년) 국내 수소 생산의 75% → 정유 공장



### 국내 수소 생산 전략

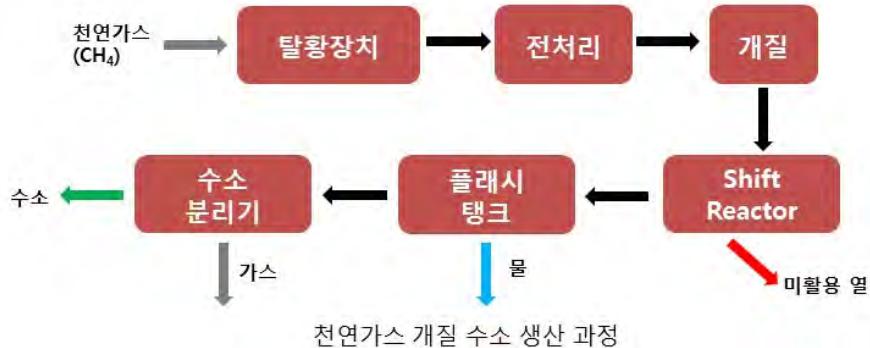
참고자료 : 한국수소산업협회 홈페이지, “부생 수소 현황과 활용” 가스신문(2016)

15/25

## 수소 생산 기술

### 4. 수소경제사회를 위한 기술

#### 개질 기술 (Reforming)



수증기 개질(Steam Reforming)  
 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$

부분산화(Partial Oxidation)  
 $\text{CH}_4 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$

자열 개질(Autothermal Reforming)  
 $\text{CH}_4 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$

16/25

## 수소 생산 기술

### 4. 수소경제사회를 위한 기술

#### 가스전력화 P2G기술 (Power to Gas)

- ❖ **개념** 재생에너지의 잉여 전력 → 수전해 수소 생산 / 메탄 생산 → 에너지 저장 및 Peak 대비
- ❖ **개발** 미국 캘리포니아, 일본, 유럽 등 주요국 중심으로 P2G 기술 실증 개발 중
- ❖ **호주** 일본과 연계해 P2G 기술 개발 및 수소 수출 계획 중



수소생산 및 유통·공급, 탈탄소화 과정

호주의 수소 생산·저장·운송 전략

참고자료 : Hydrogen council(2017)

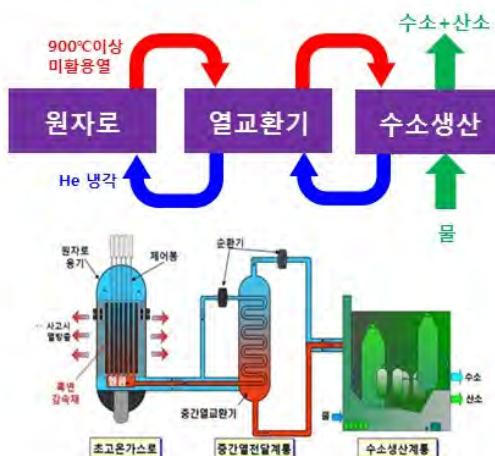
17/25

## 수소 생산 기술

### 4. 수소경제사회를 위한 기술

#### 초고온 가스로 (VHTR)

- ❖ 900°C 이상의 원자로 미활용 열을 이용한 수소 제조법
- ❖ '물 → 수소'로 고온 분해 / 고온 가스로 전기 생산



※ VHTR: Very High Temperature gas-cooled Reactor



- 900°C 출구 온도, 수소-전기 생산시설 개념설계 연구 완료
- 현재 고온 전기분해 수소생산 연구 집중



- 10년 50일간 950°C 운전 성공, 수소생산 실증 추진
- 600 MW급 수소-전기 생산 상용화 개발 연구 중



- 초고온가스로 계통개념연구 완료
- 초고온가스로 설계해석코드, 핵연료, 초고온재료 개발 중

참고자료 : 한국원자력연구원 홈페이지

18/25

## 수소 저장·운반 기술

### 4. 수소경제사회를 위한 기술

#### 일본 수소 저장·운반 관련 기술개발

- ❖ 일본 '가와사키중공업' 액화수소 저장·운반 관련 기술 전담 개발
  - ※ 수소 운반기술 개발 위해 로열더치셀(LNG 운반 기술 보유)과 제휴 ('16년)
- ❖ 호주 갈탄에서 수소 추출 → 일본 수출 (수출 시 가와사키중공업 저장·운송 전담)
  - ※ 일본 자국 수소생산 보다 50% 이하 가격에 수소 생산



액화수소운반선



액화수소탱크



수소가스터빈



수소트레일러

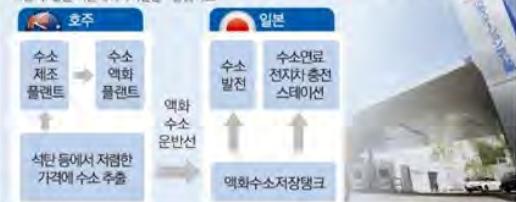


수소액화플랜트



#### 일본 가와사키중공업 · 로열더치셀 수소 생산과 운반 계획

\*출처: 일본 니혼게이자이신문 - 블룸버그



#### 가와사키중공업 수소 관련 제품군

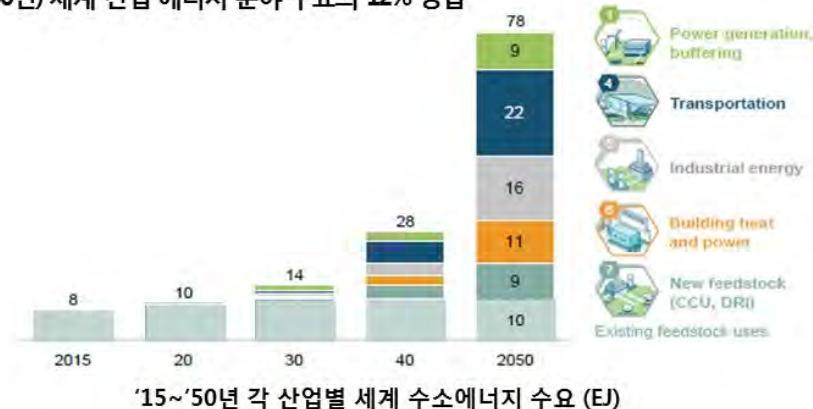
참고자료 : "미래는 수소경제 시대...일본 가와사키중공업, 로열더치셀과 파트너" 이투데이

19/25

## 수소에너지 사용 전망

### 5. 수소경제사회 전망

- ❖ **수요** '15년 8 EJ → '50년 78 EJ 세계 에너지 수요 18% 수준 확대 (50년 2°C 시나리오 가정)  
※ 1 EJ (Exa)= $10^{18}$ J로 전세계 하루치 에너지 수요에 해당하는 수준
- ❖ **운송** ('50년) 수소전기차 약 4억대 보급, 전 세계 차량 중 약 20~25% 비중 차지 예상  
※ 각 차종별 전망(비중): 트럭 2천만대(25%), 버스 5백만대(35%), 소형차(10%)
- ❖ **산업** ('50년) 세계 산업 에너지 분야 수요의 12% 공급



참고자료 : "A sustainable pathway for the global energy transition" Hydrogen council(2017)

20/25

## 수소에너지 보급 전망

### 5. 수소경제사회 전망

- ❖ **수소 가격** ('16년) 7~8 \$/kg 수준 가격 → ('30년) 2~5 \$/kg 전망 (Hydrogen council)
- ❖ **발전 단가** ('16년) 280 \$/kW 수준 가격 → ('30년) 30 \$/kW 전망



참고자료 : "How hydrogen empowers the energy transition" Hydrogen council(2017)

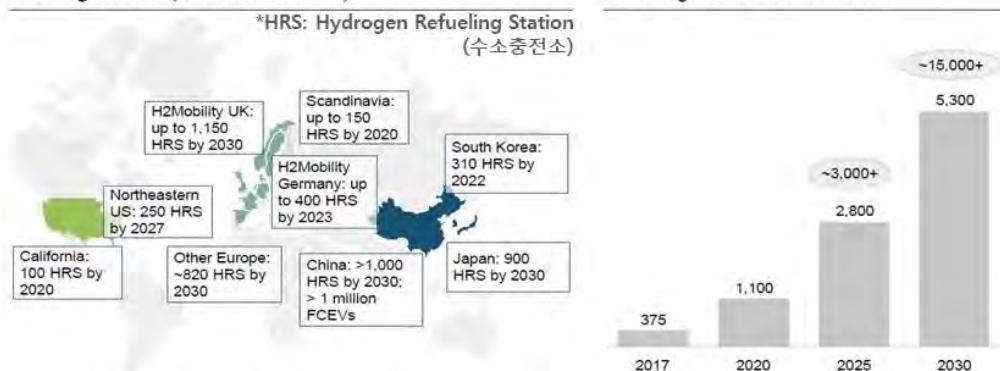
21/25

## 수소충전인프라 보급 전망

### 5. 수소경제사회 전망

- ‘17년 세계 375개 수소충전소 가동 → ‘30년 5,300개소 전망 (Hydrogen council)
- ‘17년 국가별 현황(충전소): 미국(65), 일본(96), 중국(7), 독일(57), 프랑스(16)

Latest announced investments in hydrogen refueling stations (selected countries)



세계 주요국의 수소충전소 구축 계획('20년~'30년)

Current global announcements

세계 수소충전소 가동 현황 및 전망(~'30년)

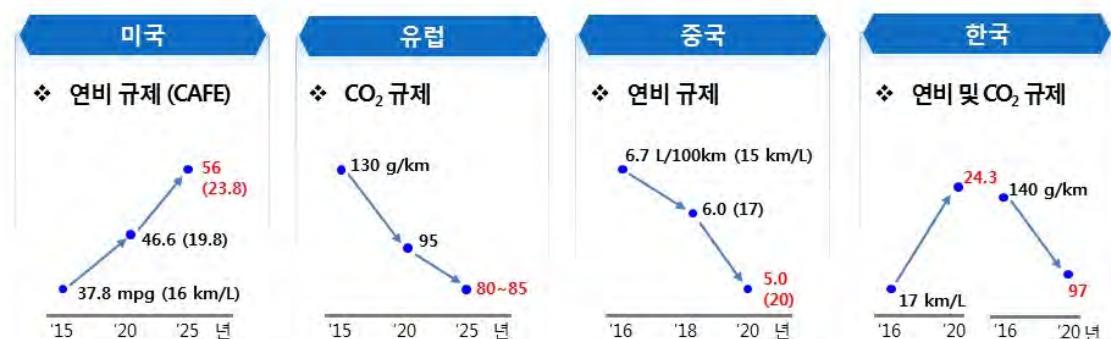
참고자료 : "A sustainable pathway for the global energy transition" Hydrogen council(2017), 가스신문 보도자료

22/25

## 전세계 자동차 연비 및 탄소배출량 규제

### 5. 수소경제사회 전망

- 주요 자동차 시장의 연비 규제 강화, CO<sub>2</sub> 배출량 규제
- 환경 규제를 통한 친환경차 보급 확대 유도



※ CAFE: Corporate Average Fuel Economy(기업평균연비)

참고자료 : 현대자동차 발표자료

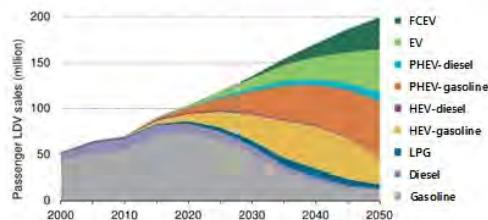
23/25

## 수소전기차 전망

### 5. 수소경제사회 전망

#### 세계 시장점유율

- ‘50년 수소전기차 약 17% 이상 차지  
※ IEA 2DS 시나리오로 ‘50년 도달 시’
- 국가별 시장점유율 전망:  
※ 미국(50년, 27%), 일본(30년, 30% 이상), 독일(30년, 25% 이상)



기관별 수소전기차 세계 시장전망(만대)

#### 세계 시장 규모

- (20년) 시장 형성 → (30년) 60만대 시장  
※ 디지털 리서치 전망(‘13년)
- (25년) 내연기관차 수준으로 가격 하락
- (50년) 수소 산업 시장가치: 약 2,800조원  
※ 맥킨지 전망(‘17년)



기관별 수소전기차 세계 시장전망(만대)

참고자료 : IEA(2012), 환경부 용역과제 자료(2016), 산업연구원 보고서(2016)

24/25

## 수소경제 필요성

• 발표 요약

- 수소 관련 산업은 대한민국의 신성장동력, 에너지자립, 친환경에너지 를 위해 필수적임
- ‘40년 수소차 620만대 생산국으로 성장 → 정체된 자동차산업 및 일자리 부흥  
※(~22년) 26조원 투자로 수소차 생산시설 증설 및 약 2900명 고용 창출
- ‘40년 발전용 연료전지 15 GW 보급 → 해외 에너지 의존으로부터 에너지 자립  
※(~22년) MW급 재생에너지 연계 수전해 기술 확보, 부생수소 공급 및 해외 저가수소 공급
- 물만 배출되는 친환경에너지 → 온실가스 감축 및 미세먼지 저감

#### 수소경제 활성화 로드맵

##### 석탄·석유→수소로 “산업구조 혁명적 변화”…경제성 확보 속제

정부, 새 경쟁력을 확보하는  
방법은? “석탄·석유→수소로”  
수소차, 연료전지 차세대 차량  
전환….”수소차로 차세대 차량 전환  
방법은?”

“수소차로 차세대 차량 전환  
방법은?”

##### 문 대통령 “내가 수소차 홍보모델” 새해 경제행보 집중



25/25



주제발표 3

# III

## 수소전기차의 미래



## 발제자 약력

성명	김 세 훈	
소속	현대자동차	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책



## 발제3 수소전기차의 미래

• • •

김 세 훈  
현대자동차 상무



## 현대 · 기아 미래 모빌리티 3대 방향성

1



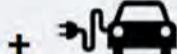
자동차 산업 패러다임 변화로 이동성에 대한 새로운 개념 등장



단순 이동성  
제공



인터넷과 연결된  
스마트한 이동수단



친환경적 경제적인  
이동수단



편리하고 안전한  
이동수단

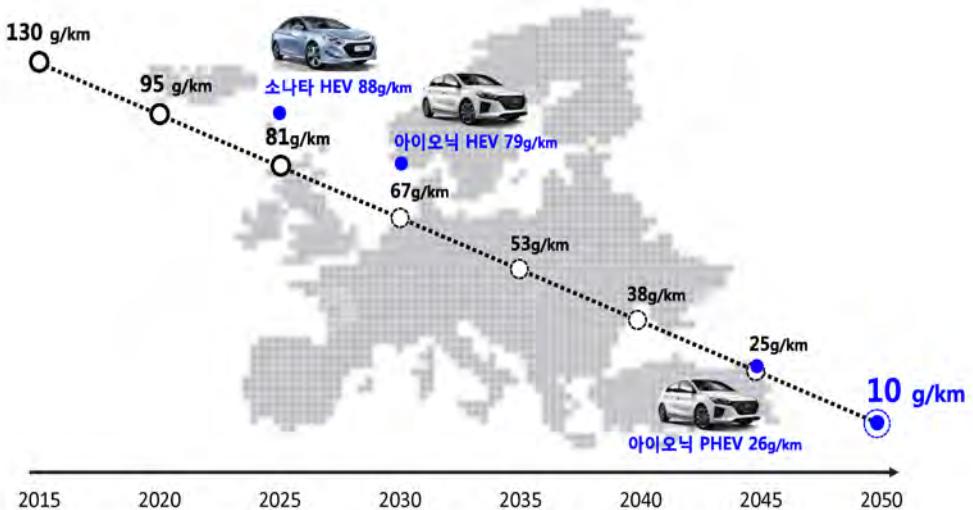
Connected Mobility

Clean Mobility

Freedom in Mobility

## 연비 규제 계획 - 유럽 CO<sub>2</sub> 규제

2



## 각국 연비 ( $\text{CO}_2$ ) 정부 정책 강화

3



### 연비 규제 강화 통한, 친환경차 보급 확대 유도

무공해차 / 신에너지차 (PHEV, EV, FCEV) 의 시장확대를 위한 의무판매 및 구매지원 정책

#### 각국 자동차 연비 규제 강화

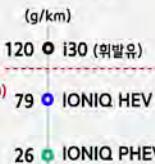
- '15년 부터 매년 약 5% 씩 강화

- 매년 4~5%씩 강화 추세
- 불만족시 전체 자동차 판매량에 비례하여 벌금 부과 또는 판매 금지

[ 국가별 연비 규제 ]

	'17 → '25
미국	40 → 56 mpg (+40%)
유럽	130 → 80 g/km (+39%)
중국	6.4 → 4.0 L/100km (+38%)
한국	140 → 82 g/km (+41%)

※  $\text{CO}_2$  배출량 비교  
(준중형, 유럽)

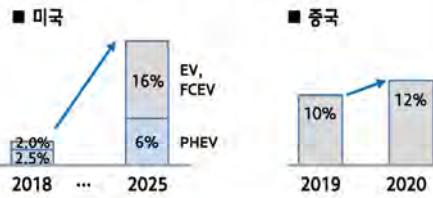


#### 무공해차 의무 판매 제도

- 미국 실시 이후, 중국 등 일부 국가 도입

- 미국 : '18년 4.5% 의무 판매, 매년 2.5%씩 증가 (캘리포니아주 포함 10개 주)
- 중국 : '19년 10% 의무 판매 → '20년 12%

[ 무공해차 의무 판매 규제치 ]



## 각국 대기질 개선 정부 정책 강화

4



### 유럽 도심 대기실 규제 강화 中

환경차 보급 목표 설정 및 내연기관차 판매 금지 정책 추진

#### 내연기관차 판매 금지 검토, 구매시 소비자 지원

- 주요국가 내연기관차 판매 금지 법안 추진

국가	시점	규제 내용	비고
노르웨이	'25~	판매 금지	여야 합의 ('16.5)
네덜란드			상원 의결 ('16.4)
독일	'30~	판매 금지	상원 의결, 하원 부정적
인도		EV만 판매	교통부 장관 발표 ('17.4)
영국	'40~	EV만 판매	정부 발표 ('17.7)
프랑스		판매 금지	환경부 장관 발표 ('17.7)

- 각국 정책 강화에 따라 자동차 회사 라인업 변화 대응

OEM	시점
볼보	'19년부터 모든 차종에 전기모터 장착 계획 ('17.7.5)
폭스바겐	'25년까지 전기차 80종 이상 출시 목표 ('18.3.15)
도요타	'50년까지 가솔린 엔진자동차 판매제로 도전 ('15.10.14)

#### 유럽 도시 대기질 규제 법안

- EU 대기질 지침 (New Air Quality Directive, '08년 6월부터 시행)

- 독일 환경 NGO인 DUH 독일 도시 56개 도시에 대해 소송 제기
- '18.2 독일 중앙법원은 독일 주요 도시가 자체적으로 도심 내 차량진입 금지 가능하다고 판결
- '18. 5 EU집행위, 프랑스, 독일, 영국, 평가리, 루마니아, 이탈리아 등 EU 대기질 규정 위반 미사정 6개 EU회원국 유럽사법재판소에 제소



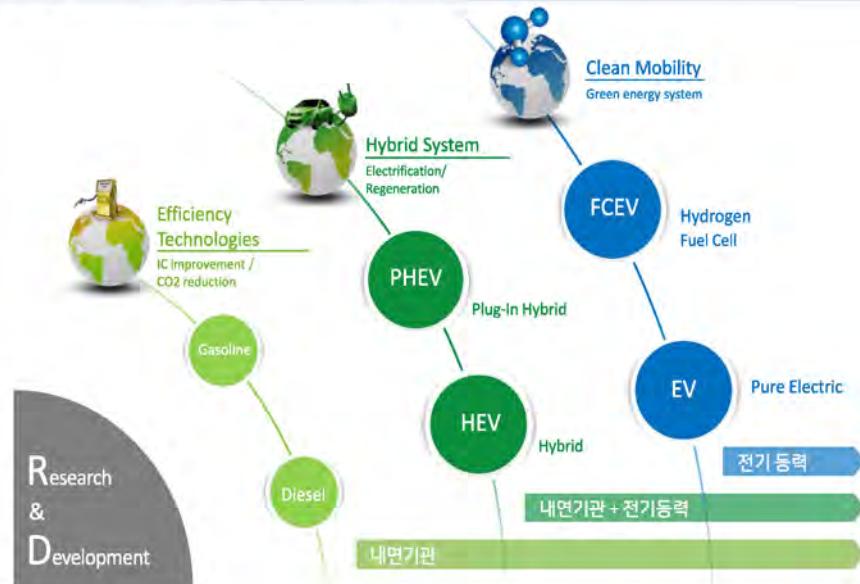
## 현대·기아 친환경차 개발 전략

5



### 다양한 친환경 기술 전략 수립

내연기관 연비 향상 기술 → HEV 기술 → 무공해 차량



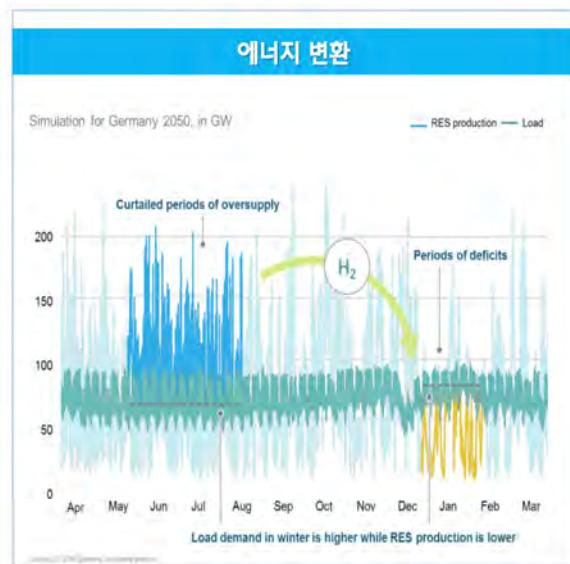
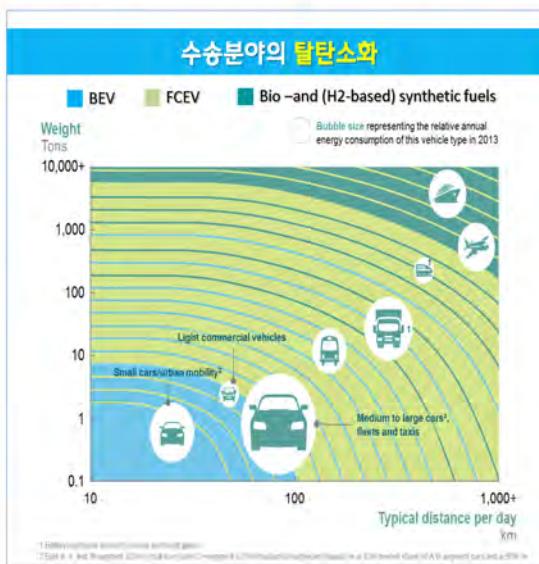
## 미래에너지 시나리오 – 수소사회

6



### 수소 에너지와 재생에너지 결합을 통한 저탄소/탈탄소 에너지 전환 확산

재생에너지: 오염은 없지만 에너지 불균형 이슈



\* Source : Jan. 2017, Hydrogen Council "How hydrogen empowers the energy transition"

## 전세계 수소전기차 시장전망

7



### 주요 국가 별 수소전기차 확대 보급 로드맵 발표 中 (2030년 누적 780만대)

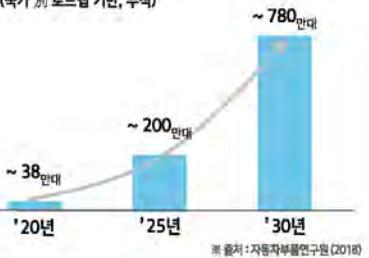
상용(버스, 트럭)에 대한 시장 급격히 증대. 트램, 선박 등 기타 어플리케이션 요구 확대 中

#### 글로벌 시장 전망

##### □ 환경차 세계 시장전망 ('17년 282만대 → '25년 1,800만대 예상)



##### □ 수소전기차 세계 시장전망 (국가別) 로드맵 기반, 누적)



#### 글로벌 산업 동향

##### □ 발트드파워 2017년 매출, 전년대비 54% 증가



※ '11 ~ '17년 평균 성장을 27%



##### □ 보쉬 / 니콜라와 300kW급 수소전기트럭 '21년 까지 개발

- 보쉬 시스템 업체로 협력 시도 (보쉬, 니콜라에 투자 / 약 7,000대 예상)
- \*Powercell 스택 + Bosch 시스템



〈니콜라 two 수소트럭〉



〈니콜라 one 수소트럭〉

※ Powercell (스웨덴)  
: FC 스택 및 시스템 제조업체

## Cost Parity – 수소전기차 & 전기차

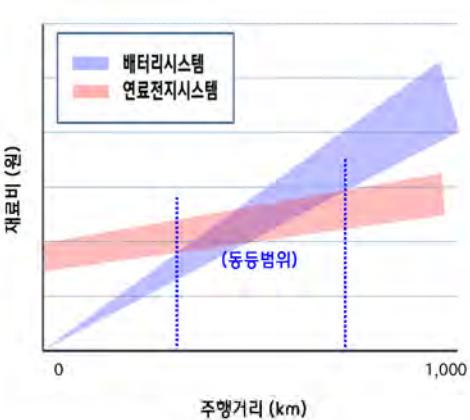
8



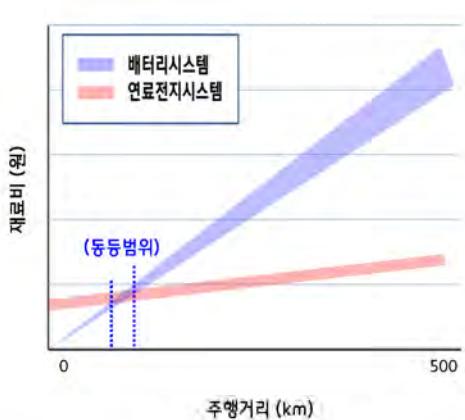
### 수소전기차: 긴 주행거리 / 상용 차종 (버스/트럭) 에서의 우위 경쟁력

짧은 충전 시간 (승용 ~5분, 상용 ~ 20분)

#### 승용



#### 상용



※ 연료전지 가격 : 연료전지시스템 + 고전압 배터리 + 수소저장시스템  
전기차 가격 : 전기차 배터리 시스템

## 현대 · 기아 환경차 개발 현황 – 수소전기차 세계 최초 양산

9



### 2013년 세계 최초 투싼 ix 수소전기차 양산

- 전세계 18개국 판매 : 2013년 덴마크 코펜하겐 시청 판매 외 북미/호주/유럽 주요국 판매



연료전지 스택	100 kW
모터	100 kW
배터리	24 kW
수소탱크	700 bar
1충전 항속거리 (국내)	415 km

\* Fuel Economy Label: 70% of EPA mode test results



## 현대 · 기아 환경차 개발 현황 – 차세대 수소전기차, 넥쏘(NEXO)

10



### 현대자동차 친환경 및 미래 기술 집약된 미래형 SUV (연료전지전용부품 99% 국산화)

핵심부품 독자기술 확보 및 연료전지전용부품 99% 국산화 / 120여개 부품업체 개발 참여



#### 1. 더욱 진보한 친환경 파워트레인

- 단 5분 충전으로 세계 최고 항속거리
- 시스템 효율 60%
- 핵심부품 독자기술 확보 (막전극, 다공체 금속분리판)



연료전지 + 구동모터 일체형

#### 2. 실용성 겸비

- 내연기관차 동등 내구 성능 확보 : 10년 16만km
- 세계 최초 3탱크 수소저장 시스템 : 적재 공간 최대화 (839L)



수소저장시스템

#### 3. 첨단 운전자 보조 기술 탑재



후측방 모니터



고속도로 주행 보조 / 차로 유지 보조



원격 스마트 주차 보조

## 현대·기아 환경차 개발 현황 – 수소전기차 개발 방향

11



### 친환경 및 미래 기술 집약 된 미래형 SUV “넥쏘” 출시 ('18)

미래 세대에 대한 현대·기아차의 **사회적 책임**으로써 지속 개발

1998

2013

2018

20XX

#### 세계 최초 수소전기차 양산 및 수출

- ✓ 북미, 유럽 등 18개국 판매증
- ✓ 국내외 택시, 카셰어링 사업 보급
- ✓ 북미 10대 올진상 수상



#### 차세대 수소전기차, NEXO

- ✓ 친환경, 자율주행 기술, 최신 디자인
- ✓ 세계 최장 주행거리 609km (국내)
- ✓ 주요 부품 99% 내재화 완료



#### 수소전기차 대중화 선도

- ✓ 시스템 소형화, 경량화, 저가화
- ✓ 미래수소사회로의 리딩



## 현대·기아 환경차 개발 현황 – 상용차

12



### 승용 수소전기차 기반 수소전기버스/수소전기트럭 개발

고속버스, 중형트럭 등 '20년 이후 차종별 라인업 확대

#### 수소전기 시내·대형버스

현황

- 한국시장 : 정부·지자체 요구에 대응 시내버스 개발
  - 시내버스: '19년 시내버스 판매
  - 대형버스: 산업부 경찰수송버스 요구 대응 개발 추진

#### 수소전기 중형·대형트럭

- 대형트럭 수출시장 확대를 위한 수소전기트럭 개발
  - 중형트럭(정부과제): 쓰레기 수거차 및 노면 청소차 개발 추진
  - 대형트럭: 스위스 H2 Energy社 1,000대 공급 MOU 체결

#### 시내버스



#### 고속버스



#### 중형트럭



#### 대형트럭



외관



용도

시내버스, 승객수송

경찰병력, 광역버스 등

쓰레기수거차 / 노면청소차

트랙터 등

## 현대차그룹 FCEV 비전 2030

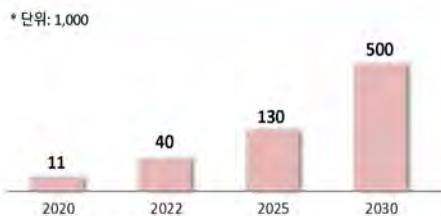
13



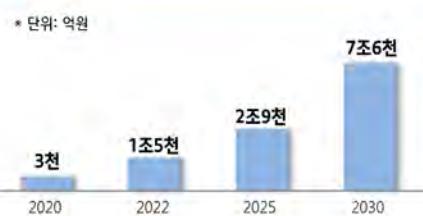
### 현대차그룹 FCEV 비전 2030 공개

2030년까지 연 50만대 규모 수소전기차 생산체제 구축, 7조6000억원 투자, 5만1000명 신규 고용 창출

FCEV 생산계획



투자



“현대차그룹은 머지않아 다가올 수소경제라는 신 산업 분야의  
‘퍼스트 무버’로서 수소가 주요 에너지인 수소사회를 선도해 나가겠습니다.”

현대차그룹 정의선 수석부회장 ('18.12.11, 수소연료전지공장 신축공사 기공식)

## 해외 협력

14



### 현대차 - 아우디 수소전기차 관련 연료전지 기술 파트너십 협약

스위스 H2 Energy社 수소전기 대형 트럭 1,600대 공급 MOU 체결

현대자동차-아우디 기술 파트너십



“기업들이 서로 손을 맞잡고 산업화를 가속화”

- 양사 특허포트폴리오 자유 실시를 통한 기술개발 자유도 증대
- 투자효율성을 높이고 원가절감 · 기술 확산 가속화

H2 Energy 수소전기트럭 공급 MOU 체결



“수소전기 대형 트럭 1,600대 유럽시장 공급”

- 수소전기 대형 냉장밴용 및 일반밴용 트럭 공급 계약
- 엑시언트 기반 유럽 현지 법규 맞춰 개발 예정
- 1회 충전 시 약 400km 주행 가능 목표

※ 190 kW급 연료전지시스템, 고성능 모터, 고효율 배터리 적용

스위스 에너지 전문기업  
: 친환경 물류 혁신 주진 중인 7개 회원사를 대상  
당사 수소전기 트럭 리스 방식 제공 예정

수소위원회 Hydrogen Council

15



세계 각국의 정부, 기업, 시민사회와의 지속적인 협업을 통한 수소사회 가속화

\* 17.11/13 독일 본 CEO 미팅 (COP23 기간 中) : 각 국 정부 지도자 참석 / 수소 에너지 비전 발표

총 54개 社 확대 (정회원 34개社, 부회원 20개社)

창립회원 13기 社



Hydrogen Council 발족식, '17.1 (@ 다보스 포럼)



CEO 미팅, '18.9 @ 샌프란시스코



수송용 수소연료 탈탄소화 100% 선언 (~'30)  
@Global Climate Action Summit '18.9

수소위원회 – 2018년 연구용역 (맥킨지)

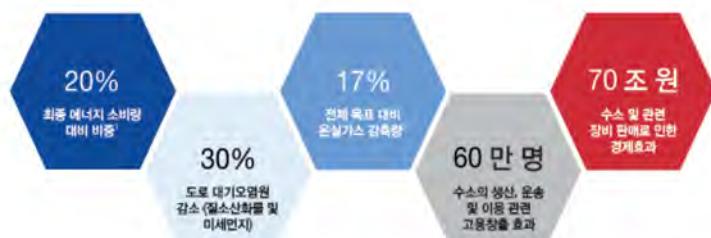
16



2050년 한국의 수소 잠재력 연간 약 1,690만 톤, 최종 에너지 소비량의 약 20% 해당

당사 포함 국내 수소에너지 관련 민간기업, H2 KOREA, NGO, 증권사 등 총 17개사 연구참여

## 2050년 한국의 수소 비전 여가



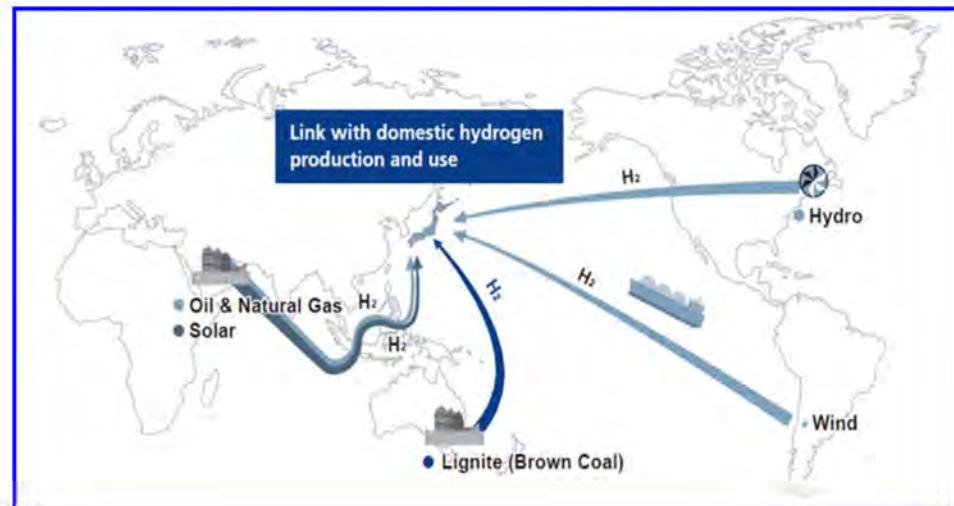
1 신입 원용부 사용되는 수소형 차량  
2 Hydrogen fuel cell 차량은 대기 오염 배출 수소로 인해 발생할 수 있는 수소

HOMER Hydrogen Coalition Member Study: Hydrogen Home Study Item



## 일본 수소사회 로드맵

에너지 수입 의존도가 높은 국가로,  
전세계 각 지역 특색 別 재생에너지 기반 수소 및 수소 화합물 (암모니아 등) 수입

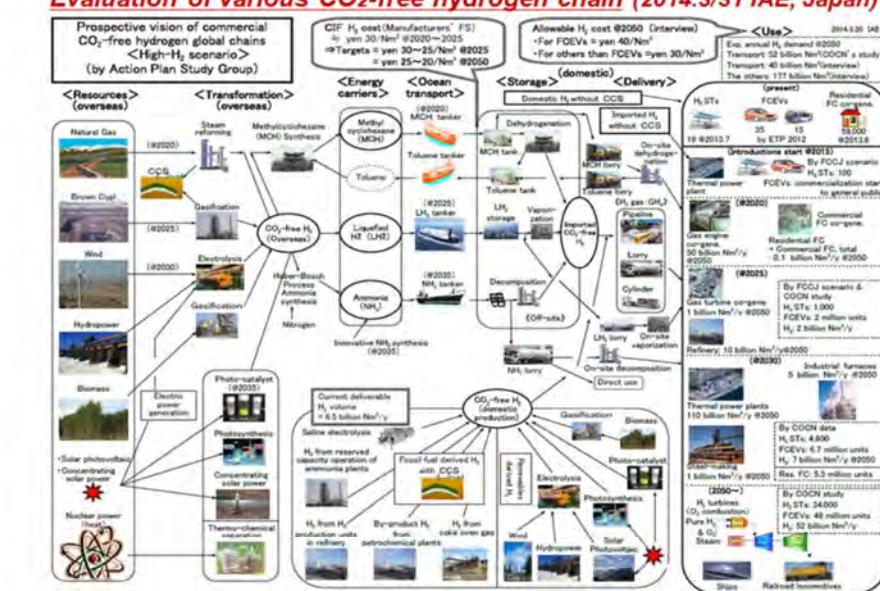


※ 출처 : '16년 FISITA Partners Forum 내  
Ken Okazaki 교수 (도쿄공업대학) 발표자료

## 일본 수소사회 로드맵

### Various CO<sub>2</sub>-free Hydrogen Supply Chain (global and domestic)

#### Evaluation of various CO<sub>2</sub>-free hydrogen chain (2014.3/31 IAE, Japan)



※ 출처 : '16년 FISITA Partners Forum 내  
Ken Okazaki 교수 (도쿄공업대학) 발표자료

## HySTRA: 호주에서 수소 생산.운반.이용

19



호주 빅토리아주에서 갈탄을 활용해 수소를 생산 → 일본으로 운반.이용

2030년 상용화 목표로 CO<sub>2</sub> Free 수소 공급망 기술연구조직 HySTRA 설립

(HySTRA : Hydrogen Energy Supply-Chain Technology Research Association)

### HySTRA 개요

- 조직명 : CO<sub>2</sub> Free 수소공급망 기술연구 추진 조합 (HySTRA, 2016.2월 설립)
- 구성원 : J-POWER, 가와사키 중공업, Shell Japan, 이와타니 산업
- 의사장 : 하라다 에이이치 (가와사키중공업 임원)
- 주요사업 : 갈탄을 소재로 한 수소제조.수송.저장.운영 사업을 연결하는 CO<sub>2</sub> Free 수소공급망



## 호주 태양광 실증사업

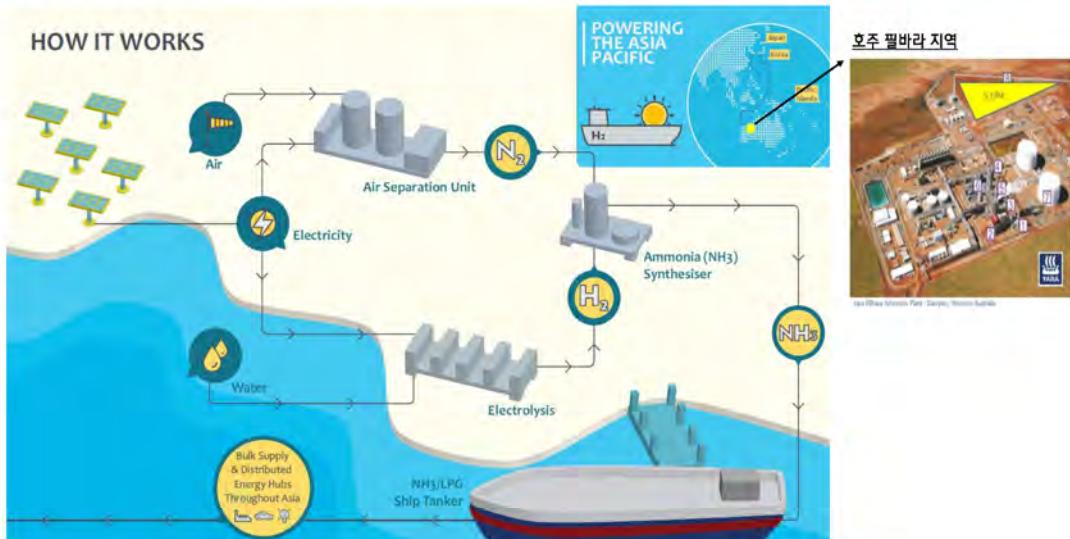
20



태양광을 통해 수소를 생산하고, 암모니아 형태로 변환하여 전세계 수출

호주 필바라 지역의 1/50 (1만 km<sup>2</sup>) 태양광 시스템 설치 시 500 GW 용량 (원자력 발전소 500기 용량 해당)

### HOW IT WORKS



(※출처: 호주 수소생산업체 Renewable H<sub>2</sub> 소개자료)

## 중국 수소전기차 개발동향

21

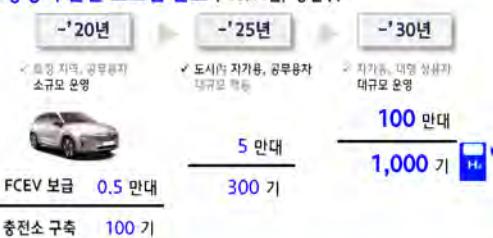


‘30년 수소전기차 규모 100만대, 충전소 1,000기 건설 목표 ('16.11월, 공신부)

상용차 위주의 초기 시장 형성, 연료전지 시스템 社 주도로 수소전기차 연관 산업 형성

### 수소전기차 중장기 계획

#### ● 중장기 발전 로드맵 발표 ('16.11월, 공신부)



### 연료전지시스템

#### ● 지방정부 중심으로 수소 연관 산업 육성 中

- 지방정부 지원 下, 완성차·시스템 업체 間 개발 추진
- + 수소생산이 중부만 선동성, 강소성, 광동성 등 면허지역 및 북경·상해 등 대도시 중심
- 연료전지 전문 학계 (칭화대, 동제대, 우한아공대)와 산학협력 중심으로 추진

#### ● 중국 연료전지 관련 개발 현황

**WEICHAI**

- Weichai, \$163M (한화 약 1,800억원)으로 캐나다 연료전지 OEM Ballard 社 지분 19.9% 인수
- Weichai / Ballard 신규합자사 설립 (기술이전료 1,000억)

**BALLARD**

- Ballard 사 투자 9.9% 지분 인수
- 국홍 (国鸿, NationSynergy)과 합자 (16년, 광동성, 연2만대) 外

**HYDROGENICS**

- 북경 이화통(亿华通)과 전략 협의 체결 ('17.12월) 外

“ Lifetime partner in automobiles and beyond ”

**HYUNDAI**  
MOTOR GROUP

NEW THINKING.  
NEW POSSIBILITIES.

# IV

## 지정토론



## 좌장 약력

성명	유진	
소속	한림원 공학부 정회원(KAIST)	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
현재	한림원 융합 과학기술 위원회	위원장
현재	카이스트 신소재공학과	명예교수
현재	한림원	정회원
2003 ~ 2004	카이스트	부총장
2000 ~ 2009	전자재료 패키지 연구센터	소장
2000 ~ 2002	국가과학기술 위원회	민간위원
1982 ~ 2016	카이스트 신소재 공학과	교수
1979	University of Pennsylvania, 금속 재료공학	박사
1972	서울 공대 금속과	학사.



## 토론자 약력

성명	김진우	
소속	클래리베이트 앤리틱스	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
	미국 University of Arizona	컴퓨터 공학 박사학위
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
2011 ~	클래리베이트 앤리틱스 한국	지사장



## 토론문

•••

김진우

클래리베이트 애널리틱스 지사장



### 성공적인 수소 경제 구축을 위한 Research & Technology Portfolio Map 수립의 필요성

수소경제는 전세계 많은 국가에서 이미 National Agenda로 자리 잡고 있으며 성공적인 구축을 위하여 정부와 민간이 서로 긴밀하게 협력하고 있다. 수소 에너지 활용의 새로운 Paradigm을 사회에 적용하기 위해서는 장기적인 계획이 체계적으로 수행될 수 있도록 하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 지속적인 R&D 및 기술 혁신과 더불어 관련 산업을 육성하고 결국에는 수소 경제가 실현될 수 있도록 하는 것이다.

수소 경제에 관련된 많은 연구와 기술 개발들이 전세계적으로 활발하게 진행되고 있으며 지난 10년간 (2008~2017) 한국의 특허 성과<sup>1</sup>를 보면 수소차량과 연료 전지 분야에서 절대적으로 많은 기술 혁신이 이루어 진 것을 볼 수 있다. 하지만 나머지 분야에서의 기술 혁신은 상대적으로 매우 저조한 수준을 보이고 있다. 그리고 출원된 특허기술의 인용 영향력을 살펴보면 전체 출원된 특허의 2%~6%만이 전세계 특허 인용 상위 10%에 포함되고 있다.

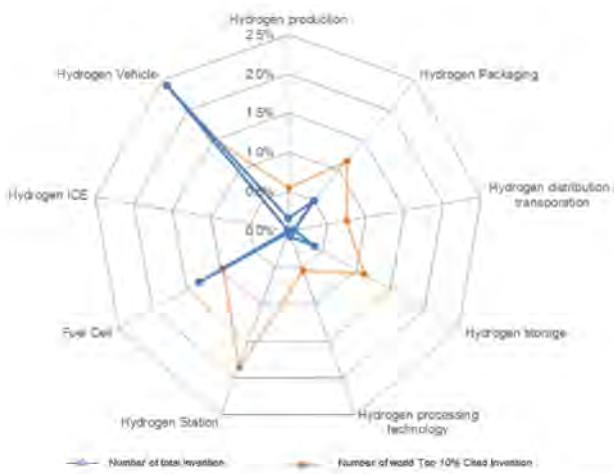


Figure 1. 한국의 수소에너지 세부 기술 별 발명 출원 성과 (2008~2017)

기술혁신을 통한 많은 결과물이 한국에서 나오고 있지만, 그 중에서 세계적으로 영향력을 보이는 기술 부분은 극히 제한적인 것이 현실이다. 현재의 기술 경쟁은 얼마나 많은 기술을 보유하고 있느냐는 것 보다, 얼마나 핵심적인 기술을 가지고 있느냐는 것이 더 중요한 시대이다.

수소 경제의 Eco-system을 성공적으로 구축하기 위해서는 주요 분야별로 기술 역량을 균형 있게 보유하는 것이 필요함에도 불구하고 현재 한국의 기술 portfolio는 특정 분야에 치중된 모습을 보이고 있다. 이는 중국의 특히 portfolio가 Hydrogen production과 더불어 packaging, distribution/

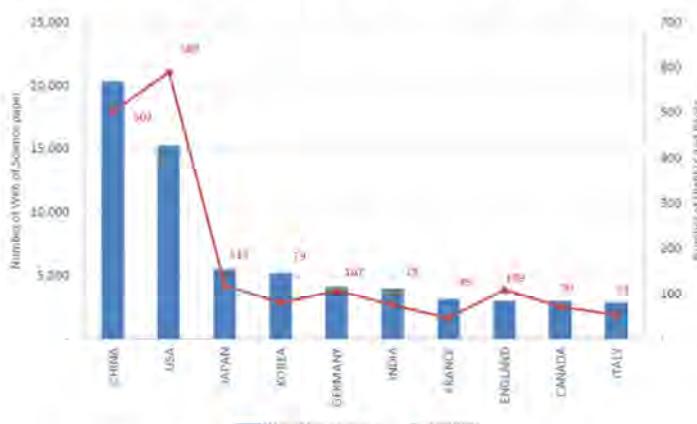


Figure 2. 국가 별 수소경제 관련 연구의 논문 규모와 영향력 분석  
(2008~2017)

연구 영향력으로 보이는 고인용 논문인 HCP(Highly Cited Paper)의 규모를 보면 한국은 79편으로 전세계 6위에 위치하고 있다.

작년 2018년도 한 해에만 수소 경제의 다양한 분야 (생산, 압축, 저장, 연료전지, 수소차량 등)에 대한 SCI 연구 논문만 전세계에서 약 9,000여 편이 발표되었고, 이는 매년 증가하고 있다. 이 중에 한국에서 발표된 논문은 약 640여 편(전세계 약 7%)이며 발표된 논문중의 HCP (Highly Cited Paper, 고인용 논문) 131편 중에서 한국은 6편 (전 세계 4.6%)을 보유하고 있다. 기술 혁신 또한 활발하게 진행되고 있어 2018년도 전세계에서 수소 경제 관련 기술의 발명 건수는 약 4,600여개 (특히 건수는 9,400여건)에 이르고 있다.

이처럼 전 세계적으로 활발한 연구와 기술 개발이 진행되면서 기존 수소관련 기술의 한계를 극복하려는 노력이 끊임 없이 이루어지고 있고, 새로운 연구 결과와 기술 혁신들이 발표되고 있다. 이제 수소 경제는 각 국가의 National Agenda를 넘어 International Agenda가 되어 가고 있으며 연구와 기술 혁신을 통한 산업 경쟁력을 확보한다는 것은 국가적 사명이 되어 가고 있다. 그리고 적지 않은 국가들이 자국의 수소 경제 구축을 넘어서 해외 시장으로의 기술 수출에도 관심을 가지면서 주도권 경쟁이 시작되고 있는 것이 현실이다. 이러한 경쟁 이면에는 치열한 연구와 기술 혁신이 뒷받침 되어야 하는 것이 필수적이다.

최근 우리 정부에서 수소 경제를 위한 국가적 Roadmap을 발표하였고, 차제에 이 Roadmap을 성공적으로 실현하는데 필요한 핵심 연구 및 기술역량 확보를 위해서 한국 수소 경제의 Research & Technology Portfolio Map (RTPM)의 수립을 수립할 때가 되었다.

transportation, storage에서도 상당 수 분포된 것과 매우 대조적인 형태를 보이고 있다

수소경제 관련 연구 성과를 살펴보면, 지난 10년간 발표된 연구 논문 규모 면에서 한국은 전세계 4위를 차지하고 있다. 중국이 절대적으로 많은 연구 논문을 발표하고 있으며 이어서 미국에서도 많은 논문들이 발표되고 있다. 높은

수소 경제는 전형적인 복잡 계 시스템(Complex System)으로 수많은 연구와 기술들이 복잡하게 연결되어 있고 이미 각 분야별로 많은 연구와 기술 결과가 나와 있으며 현재도 지속적인 혁신이 이루어지고 있다. 아직도 많은 연구와 기술혁신이 필요한 상황에서 일부 극소수 분야에 집중한다는 것은 위험 요소가 큰 전략이 될 수 있다. 하지만 수 많은 연구와 기술 분야에서 혁신을 시도하는 것도 현실적으로 많은 어려운 점이 있을 수 있다. 이런 상황에서 한국은 전략적으로 어떤 연구 분야, 기술들의 portfolio에 초점을 맞출 것인지 하는 것은 어려운 질문일 수 있지만 반면에 구체적인 방향성 없이 미래를 준비하는 것 또한 바람직하지 않을 수 있다.

이러한 난제에서는 많은 국가들이 R&D나 기술 전략 및 정책 수립 시에 객관적인 정보 기반으로 landscaping을 통해서 insight를 도출하고 있다. 전세계의 방대한 연구와 특허정보를 분석해 보면 새로운 출현하는 분야, 집중적으로 연구가 이루어지고 있는 분야, 그리고 최근에 빠른 속도로 영향이 높아지고 있는 새로운 연구 등 다양한 insight를 도출할 수 있다. 이러한 객관적 사실을 활용하여 분야별 전문가들이 우리나라가 성공적인 수소경제 구현을 위해서 집중해야 할 연구와 기술 분야의 Portfolio Map을 구축하고 방향성을 제시하는 것은 매우 중요하다. 이러한 Portfolio Map은 주변 상황의 변화를 반영할 수 있도록 수시로 검토되고 보완되어야 하고, 동시에 우리 연구와 기술 역량 Gap을 분석하여 이를 보완할 수 있는 전략적 대안이 수시로 논의되어 갈 수 있는 체계 마련이 시급하다.

1. 참고: "[리포트] 한국은 수소경제에 준비되어 있는가?" 다운로드 사이트: <https://clarivate.co.kr/hydrogeneconomywhitepaper>



## 토론자 약력

성명	류석현	
소속	두산중공업(주)	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
	부산대학교 한국과학기술원	재료공학 학사 재료공학 석사/박사
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
	두산중공업 공학한림원 ASTM A01 Committee 두산중공업 (주)두산	고문 일반회원 멤버 CTO/기술연구원장, 부사장 기술경영1팀장, 상무



## 토론문

• • •

류석현  
두산중공업 고문

**DOOSAN**

Doosan Heavy Industries & Construction

연료전지  
경쟁력 향상 방안

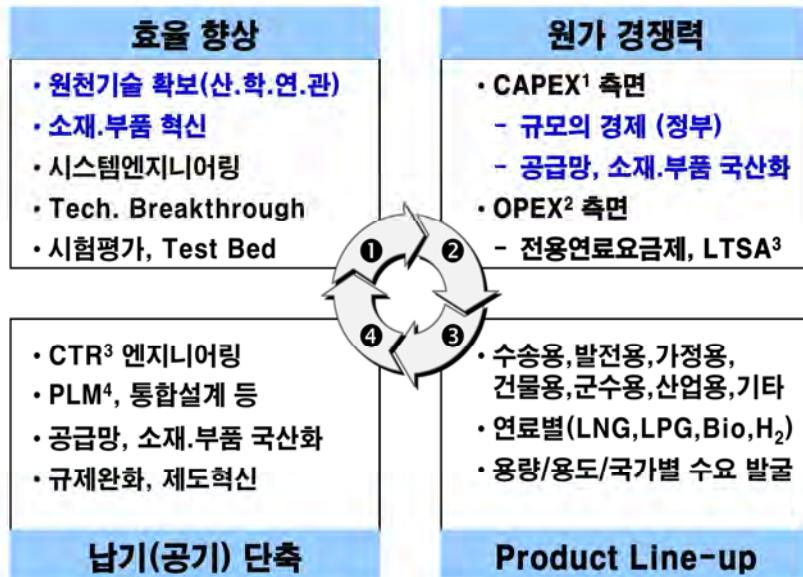


유석현 고문, Ph.D.  
두산중공업(주)

제17회 과총 과학기술혁신정책포럼,  
제133회 한림원탁토론회  
2019년 2월18일, 서울

> This document is the informational asset of Doosan Heavy Industries & Construction. Thus, unauthorized access, revision, distribution and copying of this document are strictly prohibited.

## 연료전지 경쟁력 강화 방안



1. CAPEX: Capital Expenditures, 자본적지출, 2. OPEX: Operating Expenditure, 운영비용, 3. Long Term Service Agreement, 장기서비스 계약, 4. Cycle Time Reduction, 3. Cycle Time Reduction, 4. Product Lifecycle Management

1

## 연료전지 특성 비교

	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
효율(전기/열병합 <sup>2</sup> )	~37% / 85%	~43% / 90%	~ 45% / 69%	50~60%/ no CHP <sup>3</sup>
가동온도	60-65°C	160-180°C	600-650°C	650-900°C
셀스택 수명	5~10 years	10 years	5 year	3-4 year
특징	Higher Electrical Efficiency →			
	← More Heat, but Lower Temperature			
	← Faster Load Follow			
사용제품 용량	1-100kW	100-440kW	300kW-2.5MW	1-50kW
제조사	Doosan, S-Fuelcell, Ballard, Plug Power Bumhan	Doosan, Fuji Electric	POSCO Energy, Fuel Cell Energy	Bloom Energy, Kyocera, SOLID Power, Ceres Power STX, MiCo



1. PEMFC(고분자전해질연료전지), PAFC(인산염연료전지), MCFC(용융탄산염연료전지), SOFC(고체산화물연료전지)  
2. CHP, Combined Heat and Power  
3. 일부 기업의 모델

2

## SOFC 제품별 특징

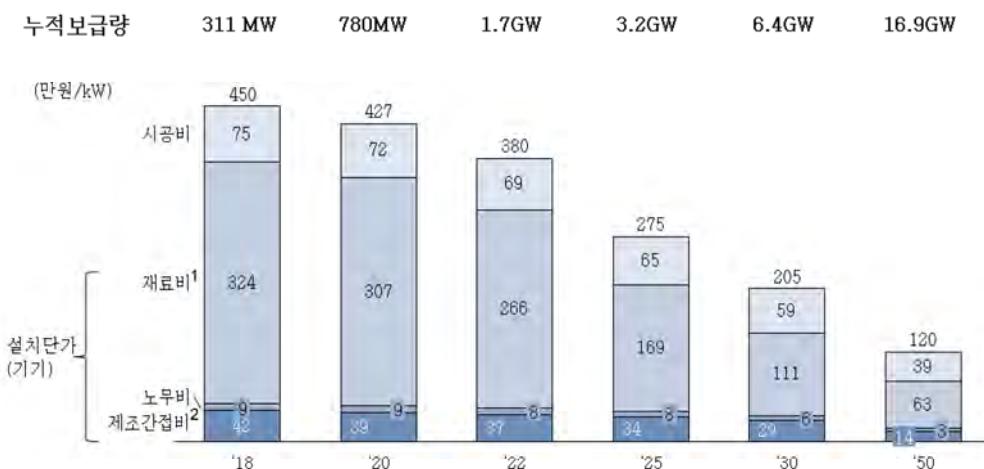
	STX증공업	MiCo	경동나비엔	Bloom Energy	SOLID Power	Kyocera
제품						
용량	1kW	2kW	0.7kW	250kW	1.5kW(6kW)	3kW
효율	45%	45%	45%	>55%	>55%	54%
CHP효율	90%	85%	86%	-	87%	85%
운전기록	3kh	3kh	2kh	>30kh	>40kh	>20kh
온수	-	-	60°C	-	60°C	80°C



Ref. 고체산화물연료전지 왜 신재생 KS인증 필요한가(한국가스신문), 2018년5월4일

3

## 규모의 경제 (발전용)



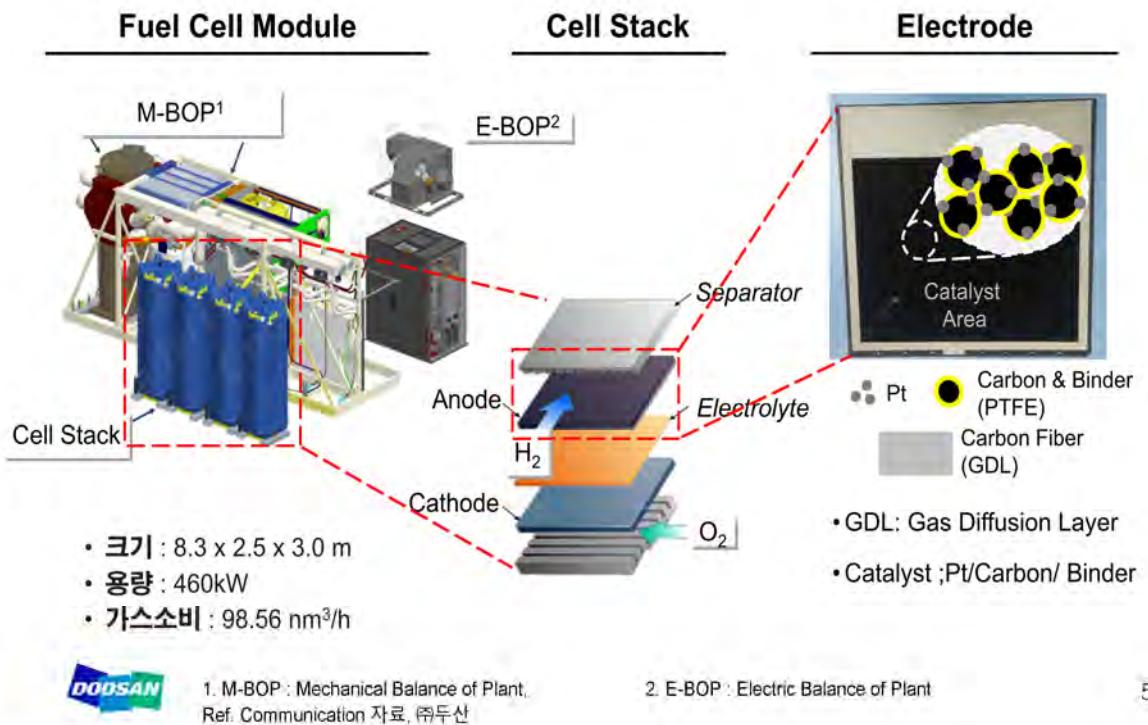
1. Volume 확대를 통한 단가인하 및 생산성 향상(~'20), 원가혁신 제품 적용 Launching(Stack 구조 개선 등)(~'22)  
국내 소재, 부품, 업체 대규모 양산, 신규 측매 개발 및 제품 모듈화(~'30)

2. 노무비 및 제조간접비 : 생산량 증가에 따른 고정 Spread 효과로 인한 설치 단가 인하  
Ref. Communication 자료, (주)두산

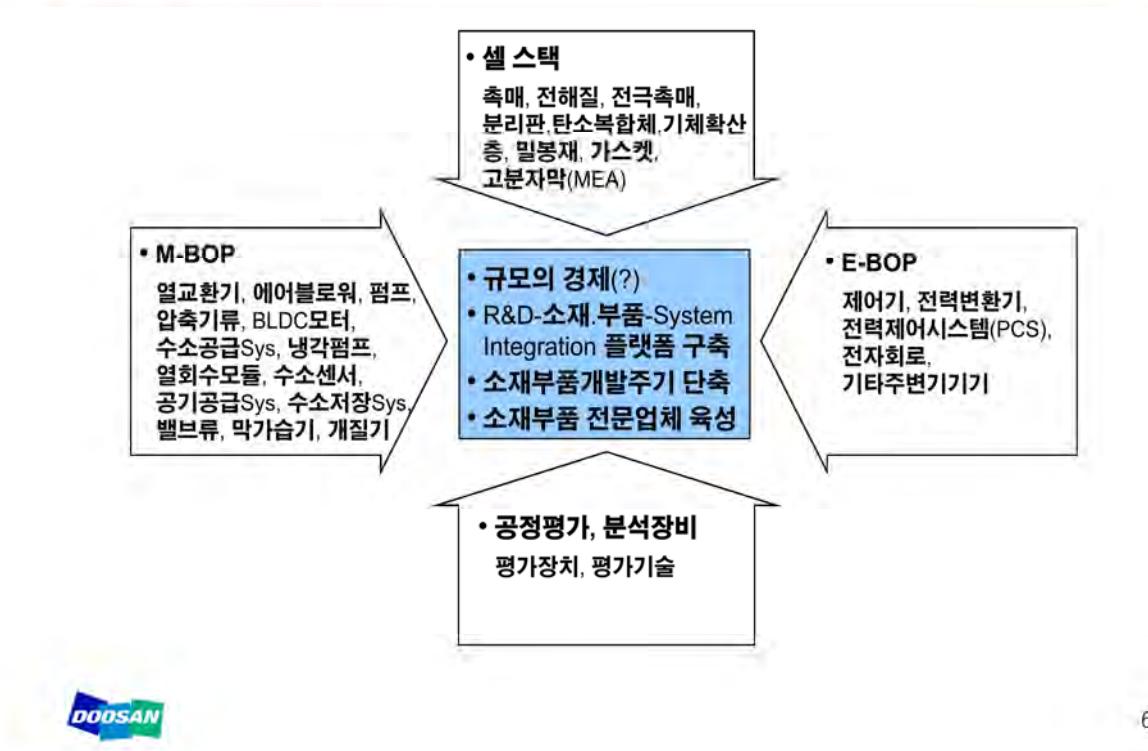
4



## 소재.부품 혁신(1/2)



## 소재.부품 혁신(2/2)



## Product Line-up(연료별)

### 천연가스 / 바이오가스 모델



### 수소가스 모델

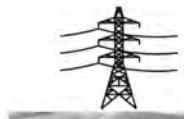


재생에너지생산 수소  
(P2G)



부생수소

### LPG 모델



중앙그리드에서 떨어진 원격지나 섬

### Tri-Gen 모델



전기차 배터리 충전, 수소차 수소 충전, 가정 혹은  
빌딩의 소요전력 충당 등의 3 가지 용도로 사용



Ref. Communication 자료, (주)두산

7

## Product Line-up(용도별, 용량별)

### 데이터센터/ 통신기지국



### 대학교



### 병원



### 산업체



Ref. Communication 자료, (주)두산

8

## Product Line-up(용도별, 용량별)

유틸리급 발전



소매점



상업용



정부



Ref. Communication 자료, 주두산

9

## Summary

- 연료전지는 글로벌 업체들 간의 경쟁이 치열하며, 한국 연료전지 산업의 경쟁력 향상방안으로 **효율향상, 원가경쟁력, Product Line-up, 납기(공기)단축**의 4대 요소를 제안합니다.
- **효율향상** : 원천기술 확보를 위한 산.학.연.관의 노력과, 소재.부품 분야의 **Technology Breakthrough**가 필요합니다.
- **원가경쟁력** : 핵심은 ‘**규모의 경제**’이며 정부의 일관된 전략과 의지가 무엇보다 중요하며, 글로벌 시장개척을 고려해야 합니다.
- **Product Lin-up** : 기업의 도전정신과 투자가 필요하며, 글로벌 시장 진입을 위한 **Team Korea** 전략이 필요합니다.
- 정책 - R&D - 소재부품 - 완성품 - 수요 - 서비스 조직 간의 ‘**정보 공유 플랫폼**’ 구축부터 시작하여 연료전지 생태계를 만들어가야 합니다.



10

**Creating a world of opportunities**

As we continue our quest to become one of the world's top 200 companies by 2020, our focus will remain on core technologies that will give us a competitive edge and allow us to continue to transform our company to meet whatever challenges and opportunities lie ahead to create a better world for us all.

By a 'better world' we mean a world of opportunity where each of us has the tools and facilities to reach our full potential. For some, opportunity may mean having fresh water to enjoy fuller harvests. For others, it may mean having power to light the family home, or the tools to make machines to advance in business. Whatever may be needed to meet the challenges of the future, we are ready to play our part.

That's what 'Building your tomorrow today' means to all of us at Doosan.

*Building your tomorrow today!*

## (주)두산 연료전지 BG 제조 역량

**120 MW production facility**  
with over 50 years of manufacturing experience



**1<sup>ST</sup> FACTORY** Connecticut, U.S. **2nd FACTORY** Iksan, Korea  
60MW production facility



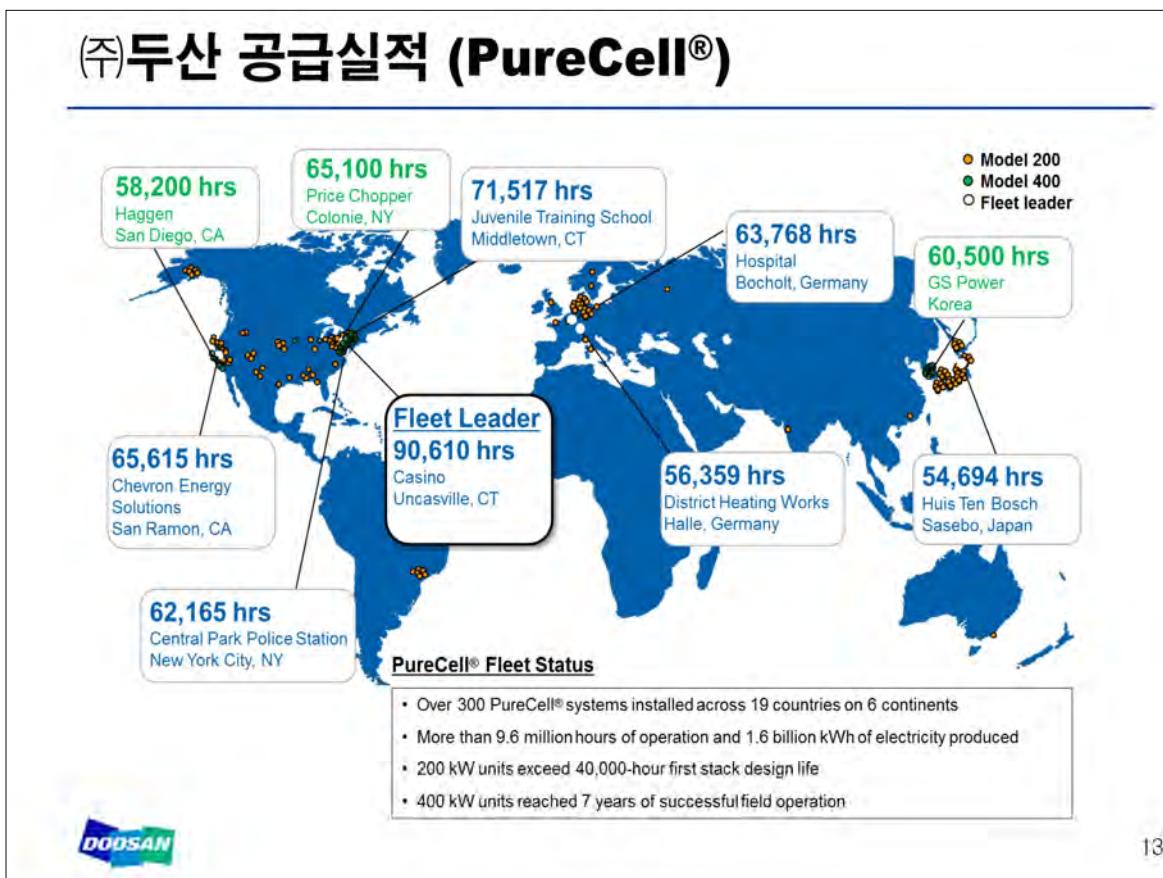
**2nd FACTORY** Iksan, Korea  
60MW production facility

**World-Class Quality System**  
Leveraging aerospace legacy



- Automated cell stack fabrication and assembly
- Long term strategic suppliers
- State-of-the-art factory performance test
- ISO 9001 & ISO 14001 Certified





## 토론자 약력

성명	배 중면	
소속	한림원 공학부 준회원(KAIST)	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
1985 ~ 1989	서울대학교	무기재료공학, 학사
1989 ~ 1991	서울대학교	무기재료공학, 석사
1993 ~ 1996	영국 Imperial College	Material Science
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
2019 ~ 현재	국가과학기술자문위원회	위원
2013 ~ 현재	한국과학기술원(KAIST)	산학협력단장
2011 ~ 현재	한국과학기술한림원	준회원
2009 ~ 현재	(주)에이치앤파워 설립(교원창업)	대표이사, 기술고문
2009 ~ 현재	한국과학기술원(KAIST)	정교수
2006 ~ 2009	한국과학기술원(KAIST)	부교수
2002 ~ 2006	한국과학기술원(KAIST)	조교수
1999 ~ 2002	미국 Argonne National Laboratory	선임연구원 (Staff Scientist), Material Scientist, 연료전지, 연료개질기 개발
1996 ~ 1999	일본 국립 전자기술종합연구소 (Electrotechnical Lab., 현 AIST)	NEDO 연구원, 연료전지엔지니어, 신전해질 개발



## 토론문

• • •

배 중 면

한림원 공학부 준회원(KAIST)

# 수소연료전지자동차와 수소에너지 보급

배중면  
KAIST 기계공학과  
한국과학기술한림원  
2019년 2월 18일



정부가 아닌 일반대중에 판매 시작

68.9 million KRW (정부보조금 지원 시 33.9 million KRW)

해외 진출

일본: ¥7,236,000 (정부 보조금 지원 시 ¥5,000,000)

미국: \$57,500 (정부 보조금 지원 시 \$45,000)

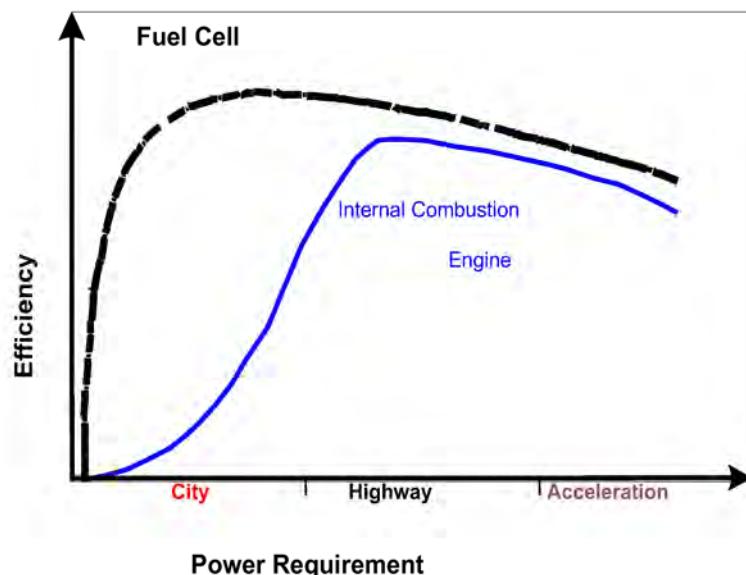
1) Hyundai Official Website (<https://www.hyundai.com/kr/ko/vehicles/nexo/highlights>)

2) Toyota Fuel Cell Vehicle\_Panels (2014) 3) <http://www.mytoyotamirai.com/toyota-mirai-price-and-cost/>

2

- ✓ 한국의 현대 NEXO, 일본 도요타 Mirai 2개 모델 상용화 완료
- ✓ 도요타 Mirai 출시 첫 달 1,500대 판매 달성, 향후 생산라인  
추가 예정

## Fuel Cell has higher Efficiency



## 현대 NEXO

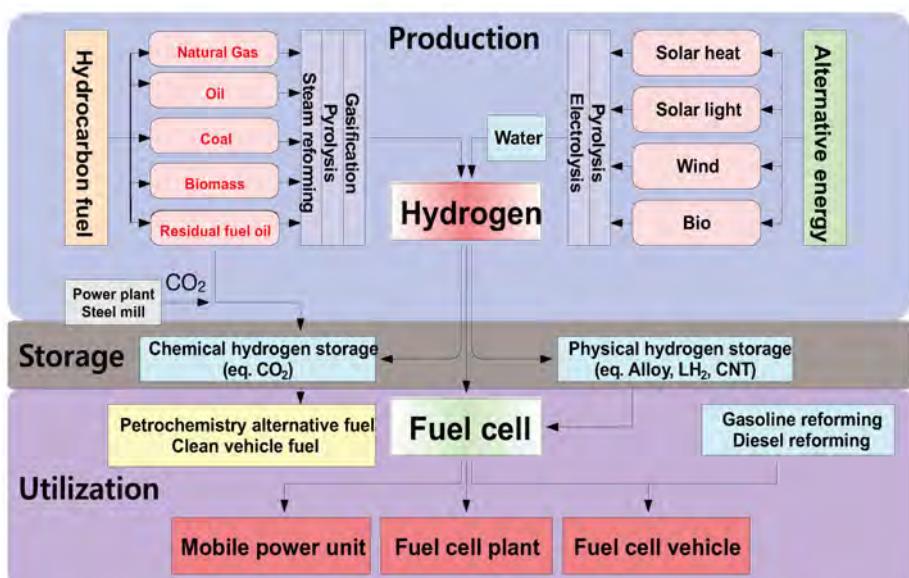


수소탱크: 6.3 kg  
수소 1 kg으로 가는 거리:  
~ 100 km

현재 국내 수소가격: 8000원  
(125 km/10,000원)

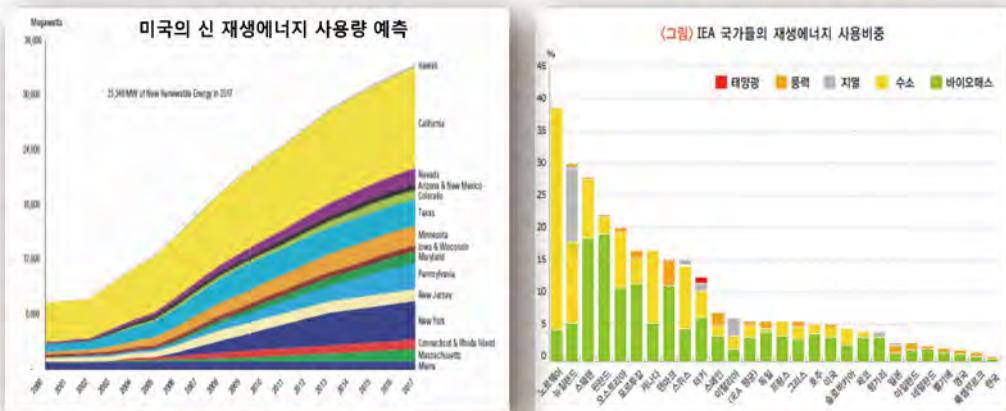
현재 휘발유자동차:  
77 km/10,000원  
(1300원/liter, 10 km/liter)

## 수소에너지 사회 – 구성



## 신 재생에너지의 대두

- 신 재생에너지의 사용량이 점차 증가할 것으로 예상
- 특히, 바이오매스와 **수소에너지**의 사용 비중이 큼



6

## 수소생산기술

단계	대 분류	중 분류	응용분야
수 소 생 산	열화학적 방식	수증기 개질	수소(합성가스)제조
		플라즈마 개질	석탄/바이오 가스화
		암모니아 개질	수소운송(Carrier)용
		액체유기수소 개질	수소운송(Carrier)용
	전기화학적 방식	알칼라인 전기분해	신재생+수소제조
		PEM 전기분해	신재생+수소제조
		고온수증기 전기분해	샌재생+수소제조
	광화학적인 방식	광전기화학 반응	기초연구
	생물학적인 방식	생물학적인 방식	기초연구
	물리적인 방식	물리적인 방식	수소정제

## 수소생산가격

Process	Unit cost \$/gge	Target (2030), \$/gge	Maturity of technology
Reforming NG	3.1	2	Mature & dominant
Partial oxidation of oil	3.8	-	Mature & growing
Coal gasification	5.1	2.2	Mature & resurgent
Biomass gasification	5.1	2.4	Pilot to implementation
Wind electrolysis	5.7	3.1	Pilot to implementation
Solar thermal electrolysis	≥ 7	3.1	Lab to pilot
Solar photovoltaic electrolysis	≥ 8	-	Lab to pilot
Photosynthesis	-	-	Lab to pilot
Chemical by-product	3	-	Mature but localized only
Nuclear sulfur iodine	-	3.2	Lab to pilot

• 2030 DOE Target : 2~3 \$/gge

8

## 일본

"수소사회의 실현"을 국가에너지 정책의 주요목표로...

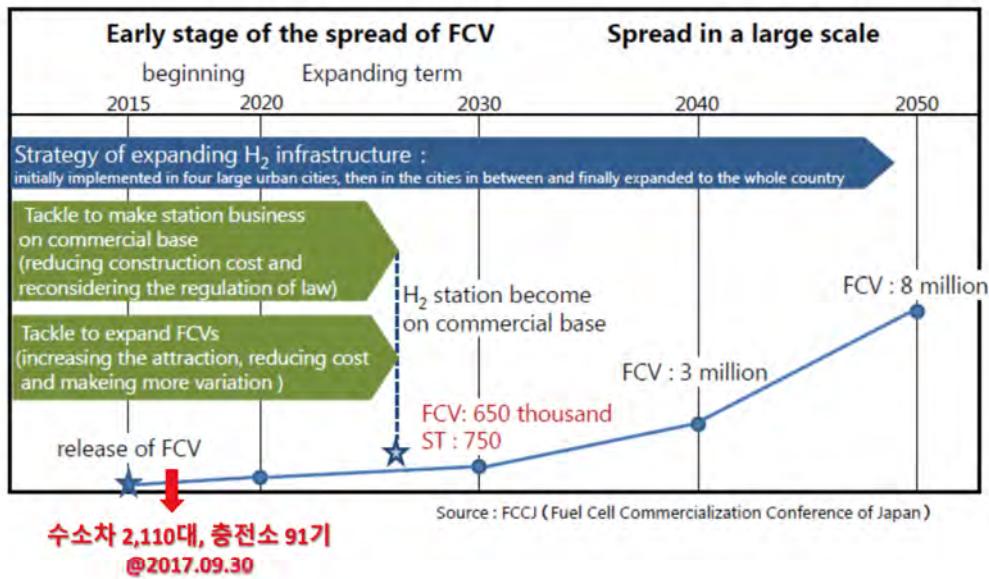
2020년(토쿄 올림픽)까지 국가의 주요전력원을 수소로...  
올림픽개최전까지 수소차 4만대, 수소충전소 160개

## 중국

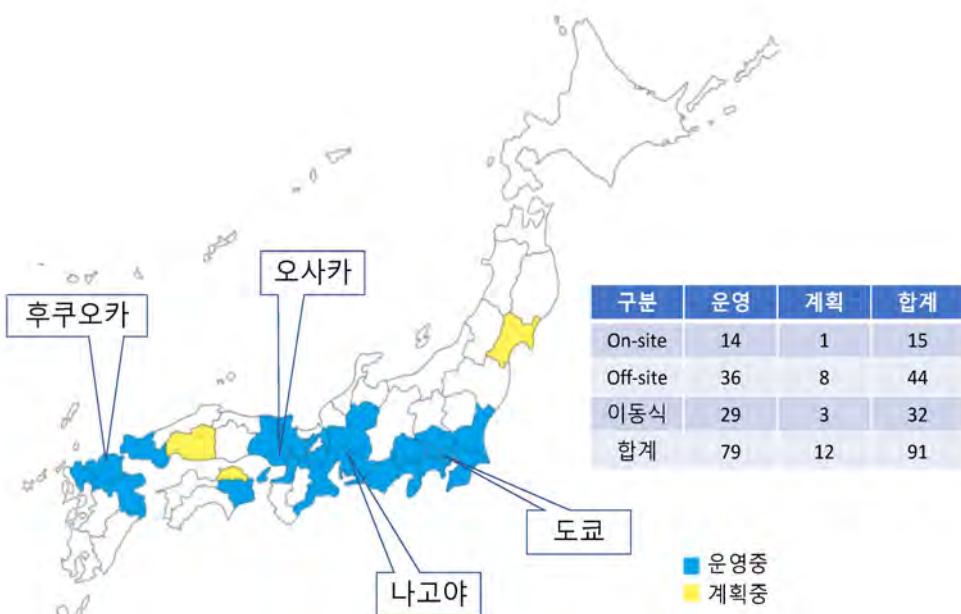
2030년까지 수소차 100만대, 충전소 1000기 이상 보급 계획

일본 연료전지 자동차 보급현황 및 계획

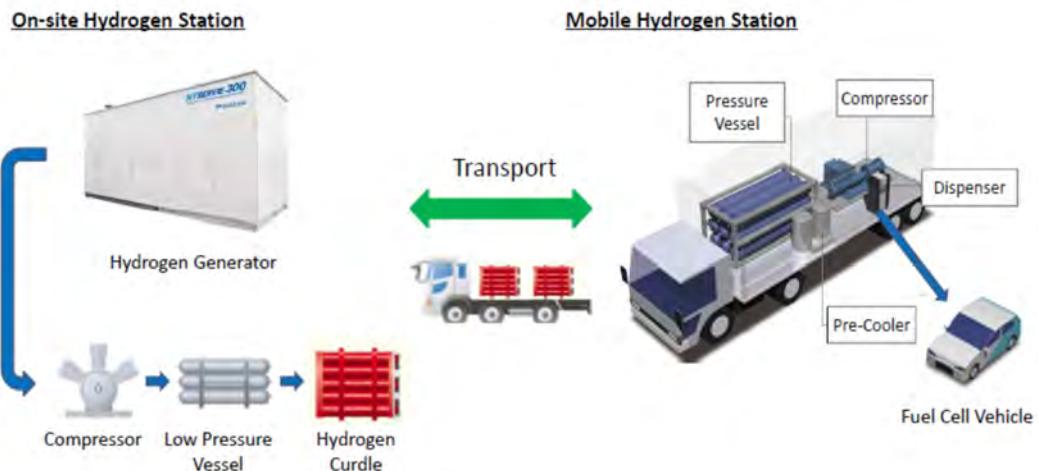
FCV 2,110대, 충전소 91기, 2030년까지 FCVs 650,000대, 충전소 750기



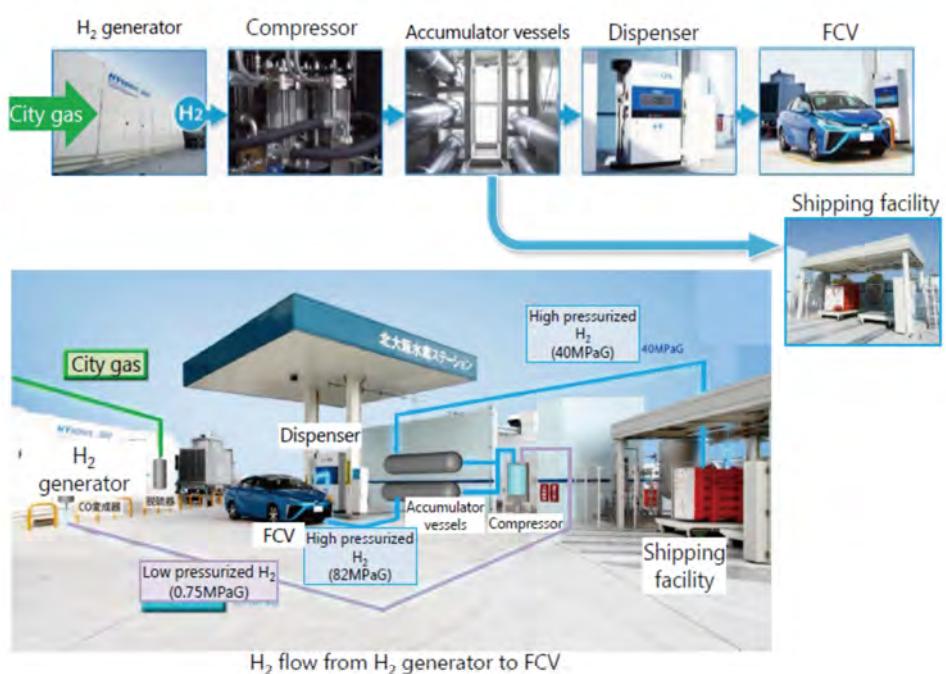
일본 내 수소충전소 보급현황 : 대-도심 중심으로 보급확대, 총 91개(계획포함)



① Mother충전소=제조식수소커들충전소, ② Daughter충전소=이동식수소충전소

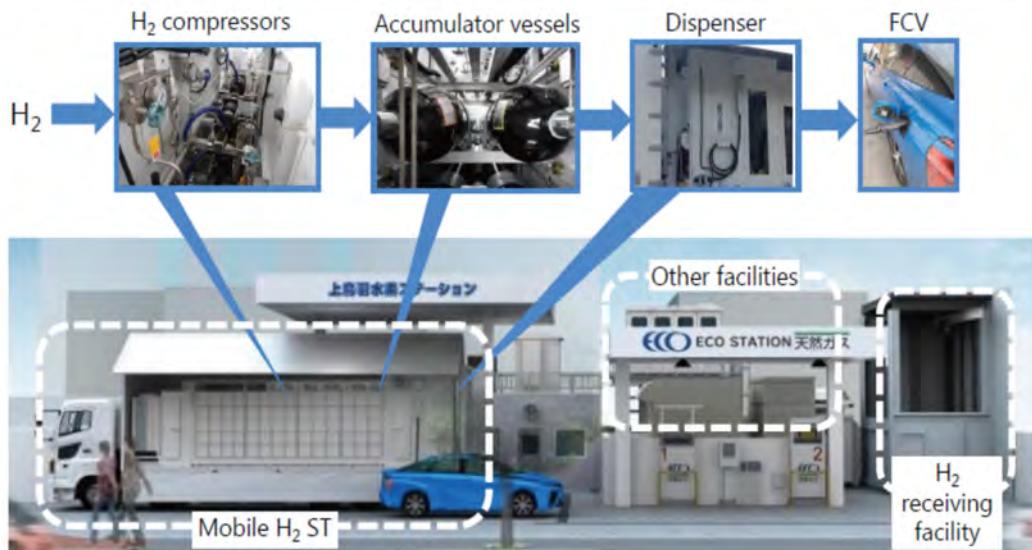


### Mother 충전소, 오사카

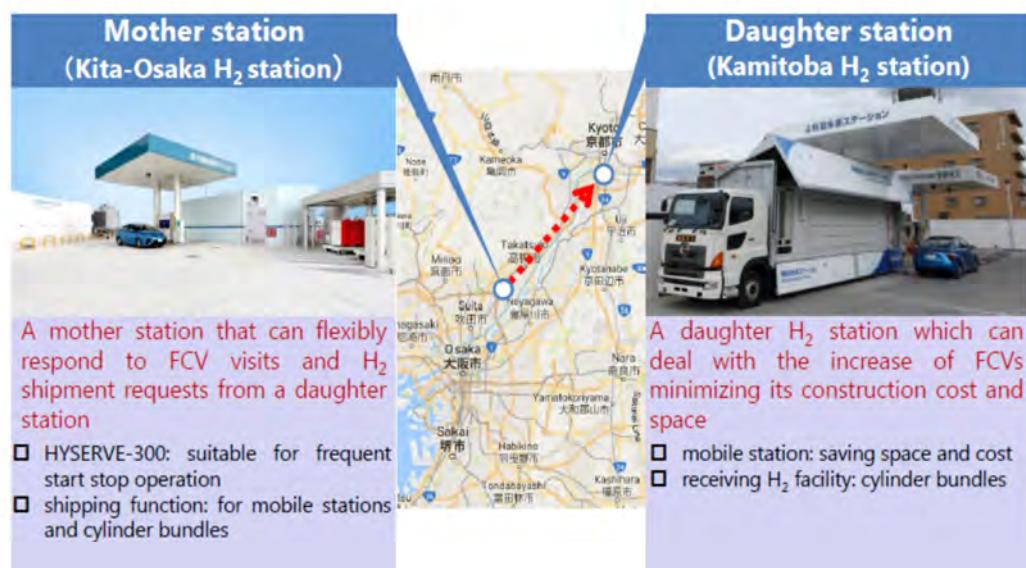


### Daughter 충전소, 교토

트럭: 압축기+탱크+디스펜서+프리쿨러, 주변장치: 공압장치/수소입고시설 등

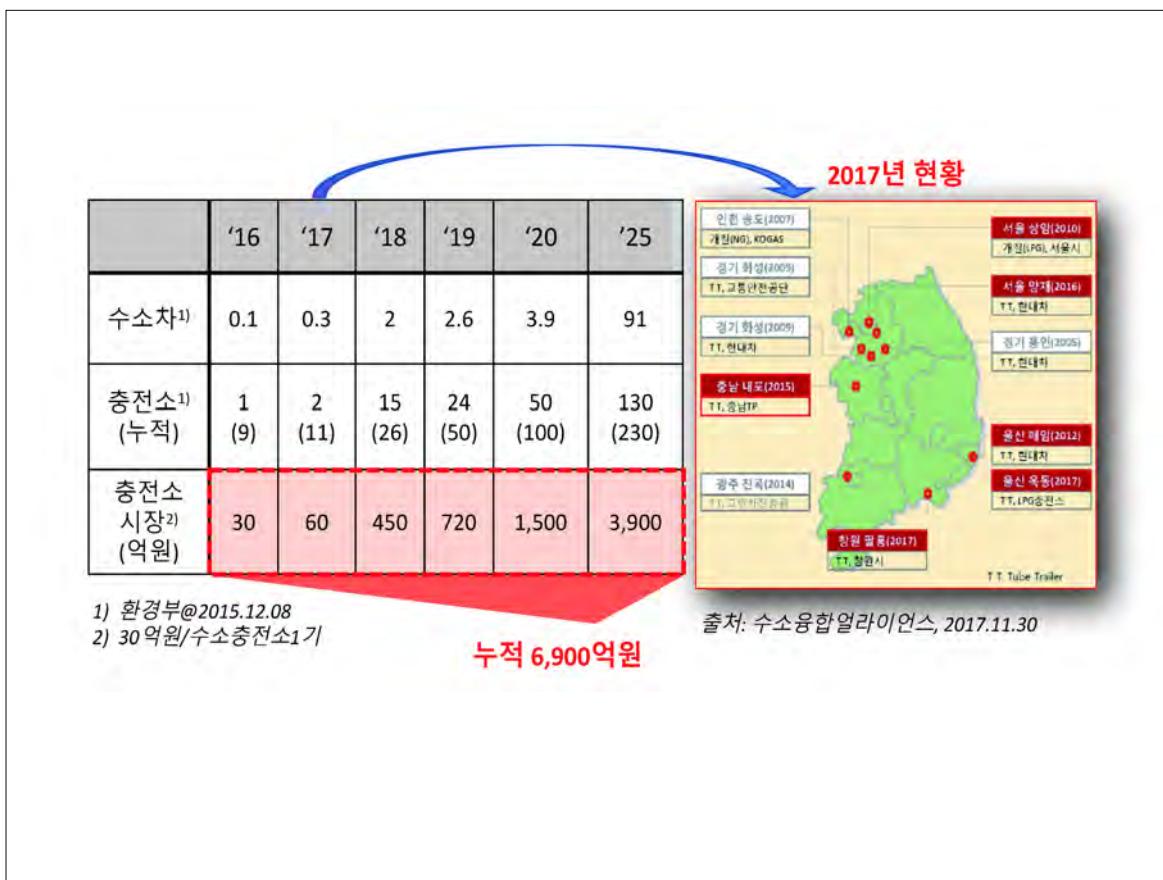


### 오사카-교토



일본 Ene-Farm					
구분	Panasonic	TOSHIBA	ENEOS CELLTECH	JX	Osaka Gas, Aisin, Kyocera
시스템					
Type	PEMFC	PEMFC	PEMFC	SOFC	SOFC
출력	750W	700W	700W	700W	700W
연료	NG	NG/LPG	LPG	NG/LPG	NG
정격 발전 효율	40% (LHV)	38.5% (LHV)	37% (LHV)	45% (LHV)	<b>46.5% (LHV)</b>
정격 종합 효율	90% (LHV)	<b>94% (LHV)</b>	87% (LHV)	87% (LHV)	90% (LHV)
온수 용량	200L	200L	200L	90L	90L
가격 (¥)	2,761,500	<b>2,604,000</b>	2,800,000	2,700,000	2,751,000

일본 MSPS											
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Micro Gas Turbine (MGT) combined with SOFC</b> : 마이크로 가스터빈과 결합된 250kW급 가압 SOFC 시스템 개발 : <b>10,000 시간</b> 동안 시험운전 성공</li> <li><b>Steam Turbine(ST) combined with SOFC-GT → Triple system</b></li> </ul>											
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>출력</td><td>250 kW</td></tr> <tr> <td>운전압력</td><td>3 bar</td></tr> <tr> <td>발전효율</td><td>55 %</td></tr> </tbody> </table>						출력	250 kW	운전압력	3 bar	발전효율	55 %
출력	250 kW										
운전압력	3 bar										
발전효율	55 %										
<b>SOFC(50)-GT(35)-ST(15) Triple system</b> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>출력</td><td>100 MW</td></tr> <tr> <td>발전효율</td><td>60 %</td></tr> </tbody> </table>						출력	100 MW	발전효율	60 %		
출력	100 MW										
발전효율	60 %										



현지 수출 ‘넥쏘’ 시승... ‘투싼’ 수소차 택시 충전 시연도 참관  
현대차 “프랑스에 2025년까지 수소전기차 5천대 수출”



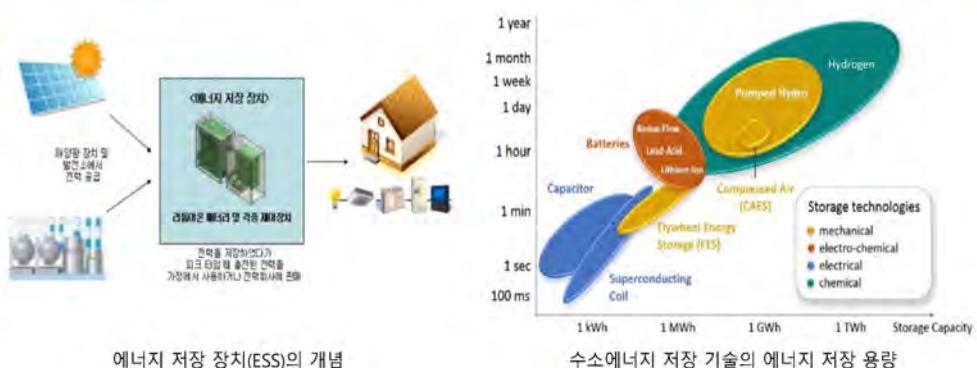
정부 수소충전소보급 기본계획 : ①부생수조 ②수소개질 ③수전해



## 신재생 에너지와 에너지 저장 장치 (ESS)

### ❖ 신재생 에너지와 에너지 저장 장치 (ESS)

- 전 세계적으로 재생 에너지의 비율을 높여 온실가스를 감축하고자 노력
- 재생 에너지의 간헐적인 전력은 계통의 불안정성을 증가시키며 효율을 감소시킴
- 재생 에너지의 잉여전력을 저장하고, 전력이 부족한 경우에 이를 활용하는 기술이 주목
- 최근 대용량 에너지 저장이 가능하며, 운영비용이 저렴한 수소에너지 저장 기술이 주목

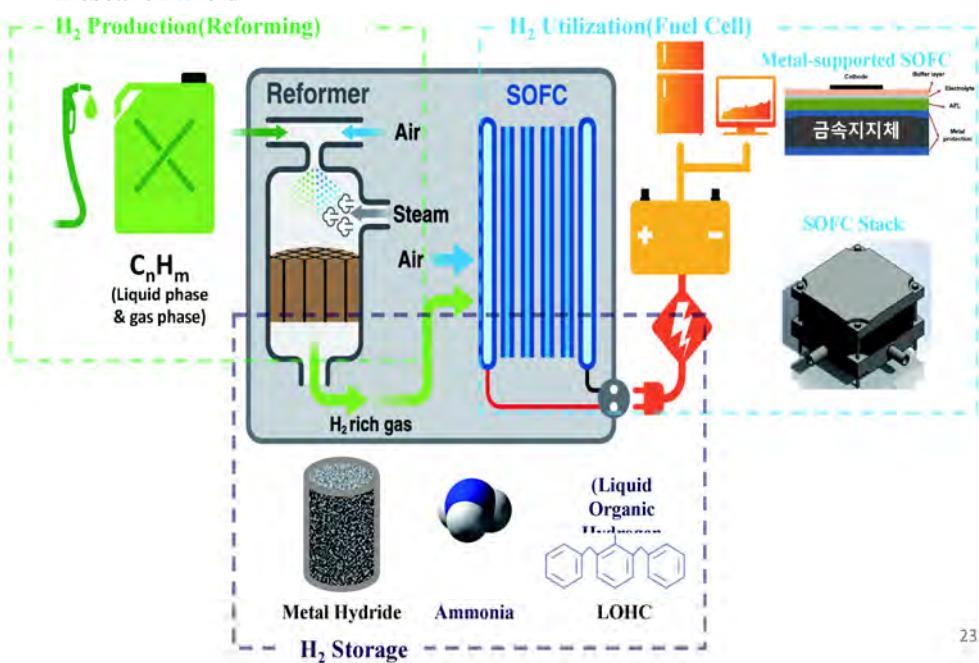


LOHC: Liquid organic hydrogen carrier  
ESS: Energy storage system

## Development at KAIST

### Laboratory Introduction

#### ❖ Research Field

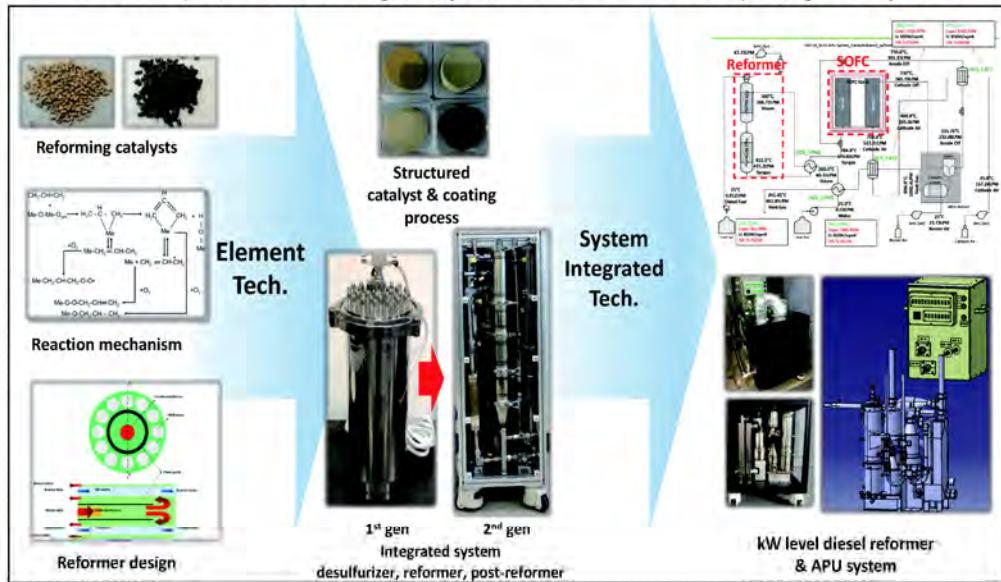


23

## Laboratory Introduction

### ❖ NECS's H<sub>2</sub> Production Technologies

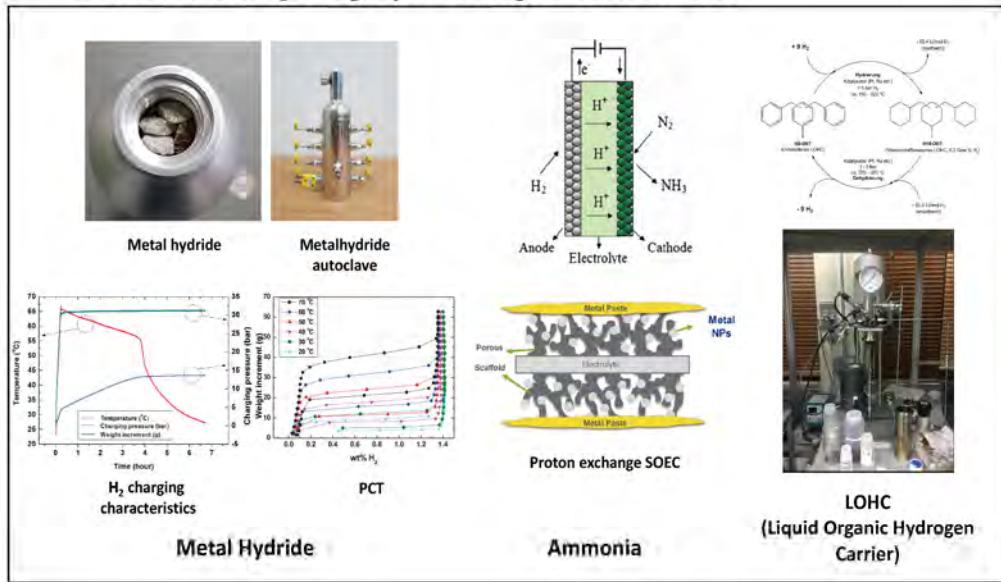
- The world's best reforming technologies of liquid HCs
- Development of reforming catalysts, reformers, and scale-up integrated systems



## Laboratory Introduction

### ❖ NECS's H<sub>2</sub> Storage Technologies

- Development of high-density H<sub>2</sub> storage technologies
- Fabrication of H<sub>2</sub> storage systems integrated with fuel cells



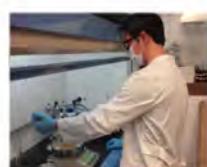
## Commercialization

**HnPower**

- Members



<http://www.hnpower.co.kr/>

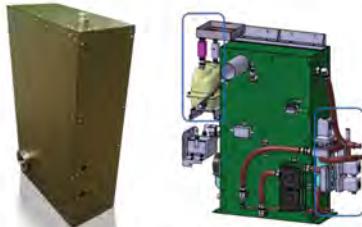


## System Integration

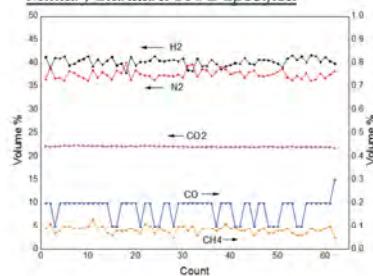


- **Gasoline reformer**

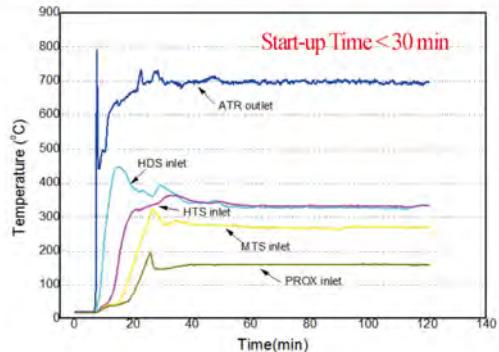
- Efficiency ~ 78%
- Start-up time < 30 min
- Military-spec satisfied



Military Standard 810G Specified



Characteristics	Contents
Model No.	RA-15GL
Process	ATR~ATO
Power	2.3kWe
Fuel	Gasoline
Efficiency	>78%
Volume	59L
Applications	SOFC, PEMFC



28

## System Integration



- **Gasoline reformer**

- Various tests are passed to satisfy military-spec



-32°C Test



Vibration Test



Dusty and  
Road  
Vibration



Gun Test

29

## System Integration



- **Block reactor for Reaction Assembly**

- Manufacturing concept to easily assemble/disassemble standardized parts
- Block board : Easily assemble block reactor test



Parts of block reactor



Block Board

30

## 토론자 약력

성명	안현실	
소속	한국경제신문사 편집국/논설위원실	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
1981 ~ 1985	서울대	경제학
1985 ~ 1990	KAIST	경영과학석사, 박사
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
현재	한국경제신문사	논설.전문위원



## 토론자 약력

<b>성명</b>	현영석	
<b>소속</b>	한남대학교 경상대학 경영학과	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
1970	서울 용산고등학교	
1975	서울대학교 공과대학	자동차공학사
1981	서울대학교 대학원 경영학과	경영학석사
1988	한국과학기술원(KAIST) 경영과학과	공학(경영과학)박사
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
2017 ~ 2019	한남대학교 경영학과	명예교수
2016 ~ 현재	충청남도 수소특별위원회	위원
2015 ~ 2018	충청남도 2030경제비전특위원회	위원
2011 ~ 현재	사단법인 백북스 ( <a href="http://www.100books.kr">www.100books.kr</a> )	설립자 및 이사장
2011 ~ 2016	충청남도 자문위원회경제산업분과	위원장
2008 ~ 2012	Kazakhstan 및 Jordan 자동차산업 발전 연구프로젝트리더(KOICA 사업)	연구프로젝트리더
2007 ~ 현재	(사)한국린경영연구원 ( <a href="http://www.leankorea.kr">www.leankorea.kr</a> )	설립자 및 원장
2005 ~ 2008	한국과학기술원(KAIST) 자동차기술대학원	대우교수
2003 ~ 2012	Korea Auto Forum	운영위원장
2002 ~ 2005	자동차부품산업진흥재단(KAP)	이사
2001 ~ 2003	AIT 경영대학원(School of Management) Hanoi Campus, EMBA과정	외래교수초빙교수
2000 ~ 2008	현대 · 기아자동차 Auto Forum	자문위원
1999 ~ 2000	AIT (Asian Institute of Technology 방콕) School of Management, 한국국제협력단 (KOICA)	파견교수
1997 ~ 1999	한남대학교	경상대학장 겸 경영대학원장
1996 ~ 1997	한남대학교 신문방송 주간	
1996 ~ 1997	일본 東京大學 經濟學部 研究教授, 일본자동차산업 연구	
1992 ~ 1993	한남대학교	전자계산교육원장
1992 ~ 1993	아시아생산성본부(APO)파견 말레이시아생산성본부(NPC)	파견 Special Consultant
1989 ~ 1990	미국 MIT (Massachusetts Institute of Technology) Center for Technology, Policy and Industrial Development, IMVP (International Motor Vehicle Program )	초빙연구원
1987 ~ 1989	한남대학교	전자계산교육원장
1982 ~ 2017	한남대학교 경상대학 경영학과	경상대학 경영학과 교수 (전략경영, 기술경영, 생산경영)
1978 ~ 1981	현대자동차 업무개선실	과장 대리



## 토론문

• • •

현영석  
한남대학교 명예교수

### 수소경제의 도래와 과제

17회 과학혁신정책포럼

2019.2.18



현영석

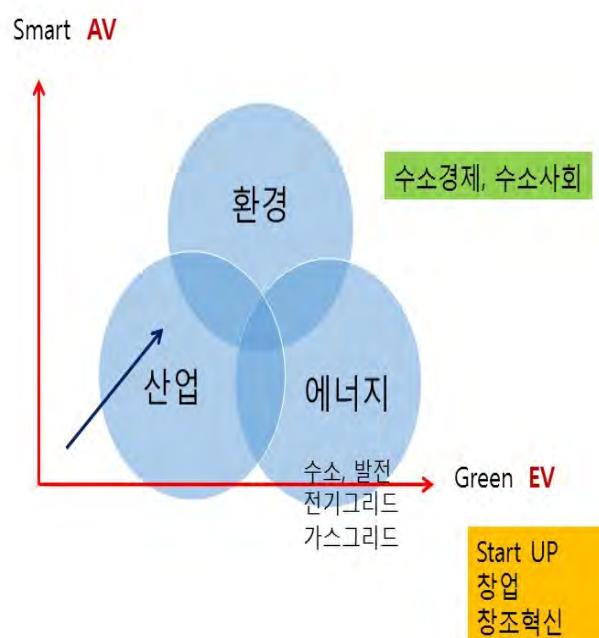
한남대학교 경영학과 명예교수  
한국린경영연구원장 [www.leankorea.or.kr](http://www.leankorea.or.kr)  
[yshyun@hnu.kr](mailto:yshyun@hnu.kr), 010-4270-1519

## 토론 요지

- 대한민국 수소경제 수소사회
- 이산화탄소, 에너지, 자동차산업, 수소자동차
- 세계 자동차산업 미래
- 전기자동차 vs 수소자동차 경쟁
- 한국 수소자동차 미래
- 정부정책

2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

2



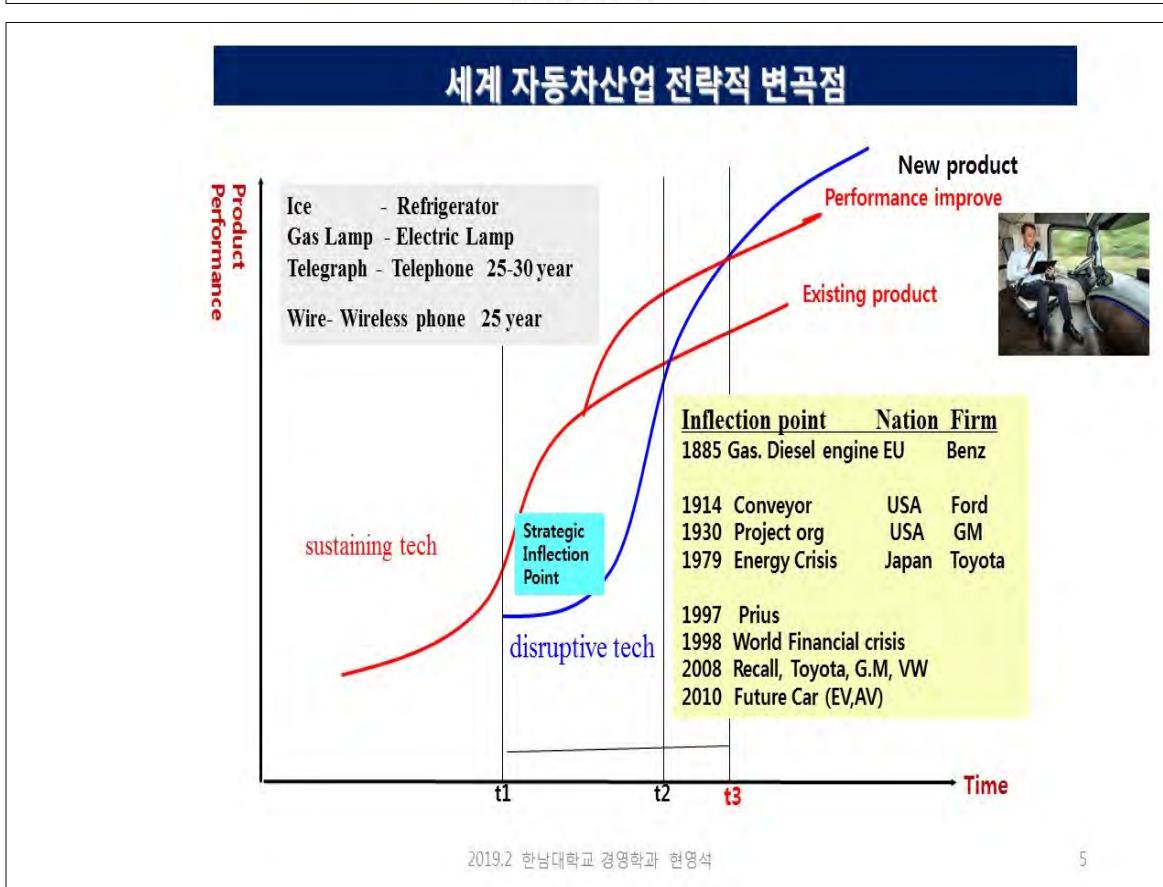
3

**Clean, Green, Smart Growth  
based on Future Automobile Industry**

**산업 -에너지- 환경**

자율주행수소전기차 (Fuel Cell Autonomous Driving Car) 산업 : 대한민국  
-> CGS (Clean Green Smart) Korea

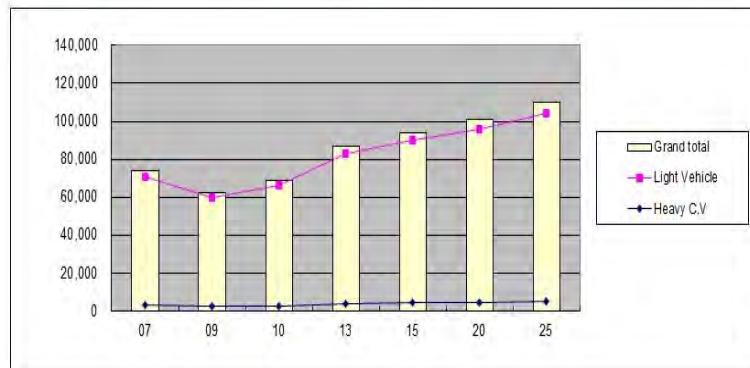
수소연료전지 관련산업 활성화방안  
한남대 현영석 2015.6



## 세계 자동차 수요 2025

yr	07	09	10	13	15	20	25
Light Vehicle	70,424	59,670	66,097	83,218	89,781	95,955	104,304
Heavy C.V	3,305	2,479	2,869	3,920	4,218	4,800	5,388
Grand Total	73,729	62,149	68,966	87,138	93,999	100,755	109,692

2018년  
9200만대 생산  
3300조원 매출



2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

5

## 자동차 산업 대변화: 수요감소



‘우리의 전통적 수익 모델이 무너지고 있습니다.  
앞으로 5년의 변화가 지난 50년의 변화보다 훨씬 더 클 것입니다.’

- GM CEO 겸 회장 메리바라 (2017 디트로이트 모터쇼)

2018.12 GM 선제적 구조조정  
7개 공장 폐쇄  
대량감원, 트럼프 반발



2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

7

### 주요 완성차 업체별 모빌리티, 커넥티비티, 자율주행 관련 파트너십 체결 현황

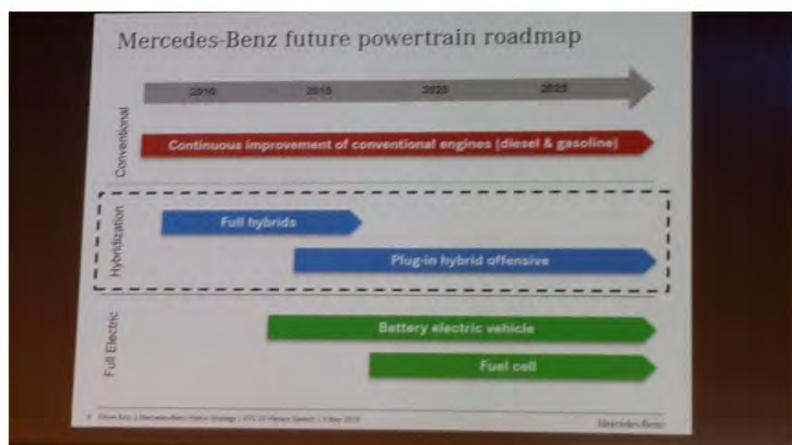


자료원: Center For Automotive Research (CAR)

2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

8

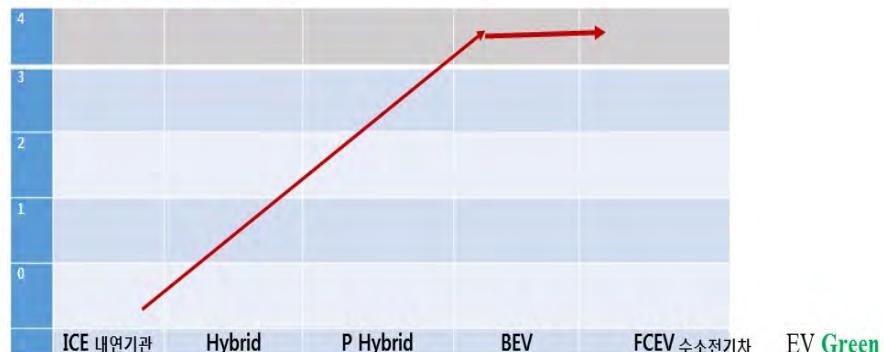
### 독일 벤즈의 친환경자동차 전략 (2015.5 경기도 고양세미나)



친환경자동차 선택? 잘 모르겠다, 다한다  
돈, 기술개발능력, 유연성경쟁

## 미래자동차산업 경쟁

Smart (AV autonomous driving)



자율주행으로 가는 3가지 방향

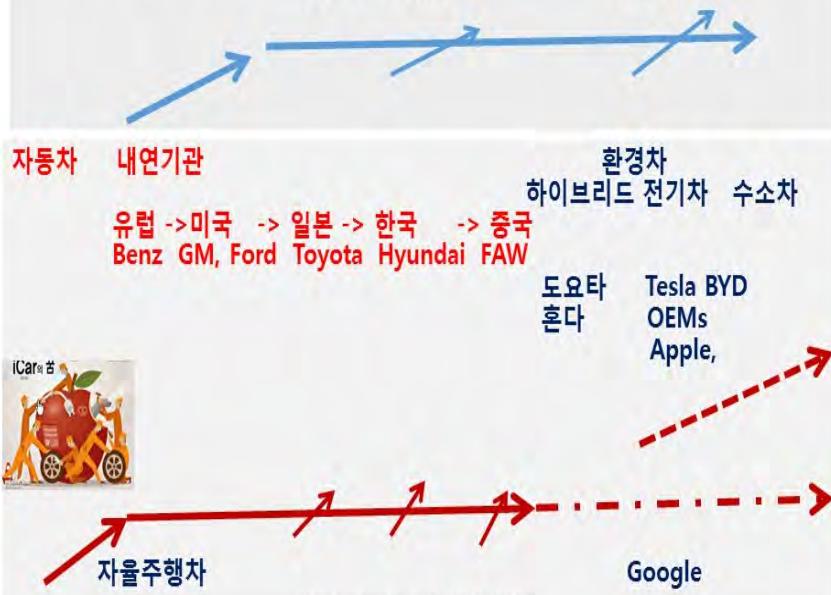


2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

10

## 동태적 산업 경쟁과 산업 지배자

전신전화 : 전보      유선전화      무선전화      Smart Phone  
 Western Union      Bell      Motorala, Samsung, Apple, Samsung  
 AT&T      Nokia      Shaom



2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

11

**누가 미래의 자동차를 지배할 것인가 : Wer Kriegt die Kurve**  
Ferdinand Dudenhoefer

**1) 차종 혁명가**

- 우버, 디디, 라임, 저
- 소프트뱅크의 구글
- 애플의 차량 프로젝트인 태슬라
- 중국의 억만장자와 국장기업들
  - 페리카(유니, 라시, 이란)
  - 넥스트EV, 푸저 모빌리티, CH 오토
  - 장안 등장

**2) Change Maker OEM**

- 독: BMW, Benz, V.W
- 미: GM
- 유: Jaguar, Land Rover  
Volvo- Geely  
Renault Nissan

**3) 위태위태**

- 미: Ford, 프 PSA, 이태리 FCA  
아: Toyota, Mazda, Hyundai-Kia

**4) 패자**

- Honda, MMC, Suzuki

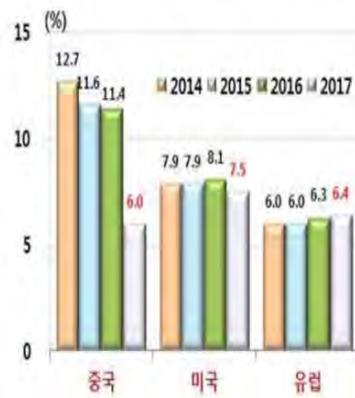
2019.2 한남대학교 경영학과 현명석

12

한국자동차산업 미래								
	1980	1990	2000	2010	2015	2020	2030	2040
time	-30	-20	-10	0	+5	+ 10	+ 20	+30 years
National ranking	12.3만대	10 132만대	5 311 만대	5 중국 1927만대 한국 427	5 465만대	India Brazil Mexico		
Hyundai Kia			10 Kia merge	5 603만대	5 800만대			
New entrant	Korea			China		IT (Apple, Google) China		
Demand	2nd. Oil shock (1979)	ICE (Internal ComEngine)		산업변곡점			Battery vehicle	FCEV
W-Demand	3,862 만대	5,037	5,894	7,836	9,000			
World leaders				Toyota GM V.W RNissan Hyun-Ki Ford Fiat-Chy Honda PSA Suzuki	1.Toyota 2.V.W 3.GM 4.Renault – Niss 5.Hyundai - Kia 6.Ford 7.Fiat-Chrys	2018 현대기아 720만대		

13

< 주요 해외시장의 한국차 점유율 >      < 국내 시장에서의 수입차 점유율 >



자료 : 현대경제연구원.

주 : 각국 자동차 협회통계를 이용한 추정<sup>12)</sup>

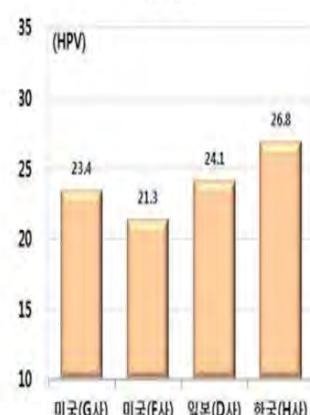


자료 : 한국수입자동차협회. 현경연.

주 : 2018년 현경연 추정.

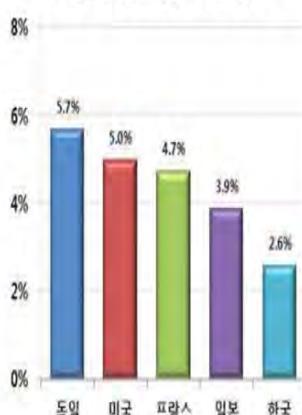
14

< 주요 자동차기업 생산성(2015년  
HPV) >



자료 : 자동차산업협회.

< 주요국 자동차기업  
R&D집약도<sup>13)</sup>(2016/17년) >



자료 : 현대경제연구원.

주 : European Commission 통계를 이용한 계산.

**노동생산성 임금**

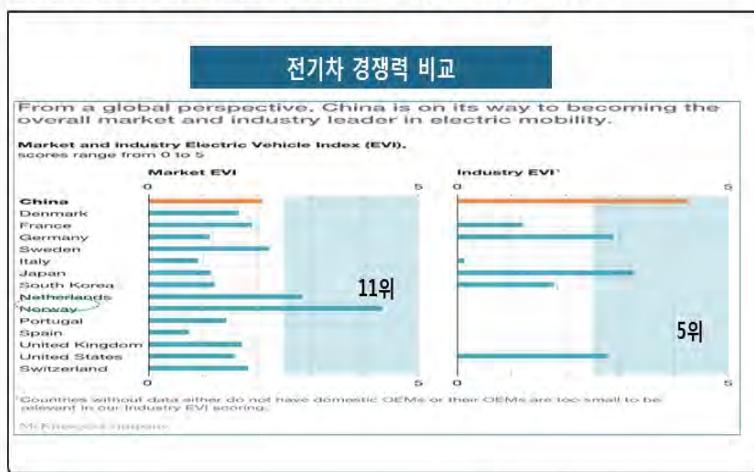
15

## 한국 친환경차, 자율주행차 경쟁력 열위

[전기차] 배터리 등은 글로벌 시장을 선도하고 있으나, 주행거리 등은 경쟁업체에 비해 뒤쳐지는 것으로 평가

[스마트카] 자율주행 상용화 기술은 레벨 2 수준으로 선진업체의 레벨 3~4 수준과 격차가 존재하여, 주요 핵심부품 수입 의존도가 높은 편

- 전문인력 부족, 연구개발 투자 미흡, 자동차와 관련업종 기업간 협업 부족



자료 : McKinsey

자료 : Navigant Research

16

AV

## 미래 자동차산업 경쟁



EV

2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

17

## 토론 요약

### - 수소경제 수소사회 새로운 대안

#### - 수소자동차 미래차 대안 : 전기차와 수소전기차 경쟁

: 기술, 경제, 정책 dynamics : dynamic competition

전기차 : 중소형 승용 수소차 : 중대형, 버스, 트럭, 특장차

#### - 한국 전략적 변곡점 기술전략 기술 선택

사례 : TDMA VS CDMA 이통통신, 한국 이동통신산업 발전 견인

#### - 정부정책 필요성 : 공급정책, 수요정책, 표준제정

생산자 - 소비자	핸드폰 직접효과	전기차 수소차 외부효과
외부경제 external economy 외부효과 ·환경, 산업, 에너지		
수소차 : 환경 이산화탄소 저감, 대한민국 수소경제, 수소사회 구현		

2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

18

## 현영석 young-suk Hyun



- 서울대학교 공과대학 자동차공학사
  - 서울대학교 대학원 경영학석사
  - KAIST 경영과학박사 “한국자동차산업 기술발전에 관한 실증분석 : 1962-1986”
  - 현대자동차 업무개선실 근무 1977.8~1981.2
  - MIT IMVP(International Motor Vehicle Program) 초빙연구원 1999
  - 아시아생산성본부(APO)말레이시아생산성본부(NPC)파견전문가 1993
  - 동경대학교 경제학부 방문연구교수 1997
  - Asian Institute of Technology(AIT)한국국제협력단(KOICA)파견교수 1993, 2000
  - 제1회 자동차의 날 [국가산업포장] 2004.5.12
  - 국가훈장 2017.3
- 
- 주요 저서 및 논문
- 한국자동차산업 기술발전론 (1991 세계사상사, 일본어판 )  
현대자동차 스피드경영 (2013, 한국린경영연구원)  
한국자동차산업 발전 (2016, 한국린경영연구원)  
Can Hyundai Go It Alone ? (Long Range Planning, 1992)  
New Product Development Capability of Hyundai Motor (International Journal of Vehicle Design, 1999) 외 다수

### 현재

- 한남대학교 경영학과 교수(1982.3 -2017.2)
- 한남대학교 경영학과 명예교수 (2017.3 ~ 2018.12 현재)
- (사)한국린경영연구원 원장 [www.leankorea.or.kr](http://www.leankorea.or.kr)
- (사)백북스 ([www.100books.kr](http://www.100books.kr))이사장
- 충청남도 수소경제특위위원
- 전화 : 010-4270-1519 팩스 : 042-672-7183
- email: [yshyun@hnu.kr](mailto:yshyun@hnu.kr), [youngkorean@hotmail.com](mailto:youngkorean@hotmail.com)

2019.2 한남대학교 경영학과 현영석

19

## 토론자 약력

성명	홍성안	
소속	GIST	
<b>1. 학력</b>		
기간	학교명	전공 및 학위
1969 ~ 1973	서울대학교 화학공학과	학사
1973 ~ 1975	KAIST 화학공학과	석사
1978 ~ 1982	펜실바니아 주립대 화학공학과	박사
<b>2. 주요 경력</b>		
기간	기관명	직위, 직책
2016 ~ 현재	GIST	융합기술원 /석좌교수
2013 ~ 2015	고려대학교	신소재화학과 /비정년전임
2012 ~ 2015	고려대학교	그린스쿨대학원 /겸임교수
2012 ~ 2015	KIST	연료전지연구센터 /초빙연구위원
2004 ~ 2008	지경부 수소·연료전지 사업단	단장
2001 ~ 2002	KIST	환경·공정연구부 /부장
1997 ~ 2001	KIST	전지·연료전지 연구센터/센터장
1994 ~ 1996	KIST	연료전지연구팀 /팀장
1992 ~ 1993	KIST	에너지·반응공정연구실/실장
1990 ~ 1991	KIST	에너지공정연구실/실장
1987 ~ 2011	KIST	연료전지연구단 /책임연구원
1987 ~ 1990	KIST	에너지공정연구실/책임연구원
1985 ~ 1987	미국 Chevron R&D Co.	선임연구원
1985 ~ 1978	한국과학기술연구소	연구원
1981 ~ 1985	미국 Gulf R&D Co.	선임연구원



# 토론문 국가 수소 경제 로드 맵 의미와 평가

• • •

홍 성 안  
GIST 석좌교수

## ■ 개인적 소회

- 늦었지만 드디어 정부가 나섰음

## ■ 의미 부여

- 수소 경제 진입을 위한 구체적 국가 비전과 Action Plan을 제시하였고 정부의 확고한 의지를 표명한 점

## ■ 핵심 분야에 대한 구체적 방향 및 전략 제시

### 1) 수소 활용분야 (보급정책) : 수송/발전분야

- 세계 시장 점유율 (내부/수출) 1위 목표
- 매우 공격적 그러나 선언적 의미부여

### 2) 수소 생산 분야

- 화석 연료 추출/재생에너지 연계 수전해
- Grey 수소에서 Green 수소로 전환
  - ① 화석 에너지 의존도 감축
  - ② 온실가스 감축
  - ③ 정부의 에너지 전환정책 2030
  - ④ 에너지 기술의 패러다임 변화
- 대량 수소 공급 가능성 이슈 (해외 수소 수입 여부 검토)

### 3) 수소 인프라 분야 (저장/운송)

- 수소가격 결정 측면에서 가장 중요하고 어려운 이슈중 하나임(예시)
- (현재/미래) 고압용기, 튜브트레일러 → 수소 파이프 라인 운송

- (대체 수단 개발) 액화, 화합물 저장 (암모니아, 메탄가스, 유기 화합물)
- (수소충전소) 늦었지만 공격적 목표제시 → SPC설립, 수소 유통센터 추진 계획

#### 4) 수소 가격 이슈

- 수소 가격 저감은 수소 경제 관건임
- 생산가격/ 공급가격/ 유통가격
- 정부의 로드맵 (6,000 원/kg : 2022, 3,000 원/kg : 2040)
- 수소가격 결정 요인
  - ① 생산방법 (화석에너지 추출, Bio, 수전해)
  - ② 설비규모 및 형태 (인프라)
  - ③ 저장 / 운송 수단 (고압 : 트레일러/ 파이프라인, 액화, 화합물)
  - ④ 수소충전소(Trailer 운송형, 현지설치형, 용복합식)
  - ⑤ CO<sub>2</sub> 배출권 적용 여부
  - ⑥ 제도 / 세제 등
- 수소 가격 저감
  - ① 생산가격 저감
    - 화석 에너지 (소형 설비 저감 R&D)
    - 수전해 : 수전해 설비 중대형화, 재생에너지 실증사업 (P2G)
  - ② 공급가격 저감
    - 고압 압축가스 (Trailer 용기 압력, pipeline 구축)
    - 대체 수단 (액화, 암모니아, 메탄, 유기화합물) : 기술개발 진척 및 경제성 우위 비교 후 결정
  - ③ 제도개선 : 불필요한 규제에 의한 행정비용 과감한 정리 필요

### ■ 기대효과

- 민간기업 신규 참여 유도를 포함, 적극투자 (인프라 확충/가격저감)

### ■ 바램

- 계획도 중요하지만 실행이 더 중요
- 정부 정책의 지속성, 신뢰성이 제일 중요
- 정부 아젠다가 아닌 국가 아젠다로 승화 (수소경제법 제정 필요)
- 컨트롤 타워/ 전담기구 필요
- Public Acceptance

# MEMO

# MEMO

# MEMO

# MEMO



제133회 한림원탁토론회 - 제17회 과총 과학기술혁신정책포럼

## **수소경제의 도래와 과제**

본 사업은 과학기술진흥기금 및 복권기금의 지원으로 시행되고 있습니다.