

# 자동차 동력의 발전 전망

이 기 형  
(한양대학교 교수)



- **자동차 시장 전망**
- **자동차 기술별 성공 요인**
  - 내연기관, 하이브리드, 배터리 전기, 수소 연료전지 장점 및 잠재력
- **자동차 기술별 적합성 분석**
  - 각 자동차 동력 기술의 정량적 비교 평가 예시 – Merit 함수
- **자동차 기술별 극복 과제**
  - 각 자동차 동력 기술의 해결 과제
- **요약 및 결론**

# 우리나라 자동차 산업



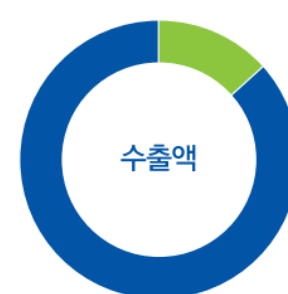
|       |                 |
|-------|-----------------|
| 제조업   | 2,963,237명      |
| 자동차산업 | 354,504명 11.96% |



|       |                   |
|-------|-------------------|
| 제조업   | 1,415,810십억원      |
| 자동차산업 | 197,045십억원 13.92% |

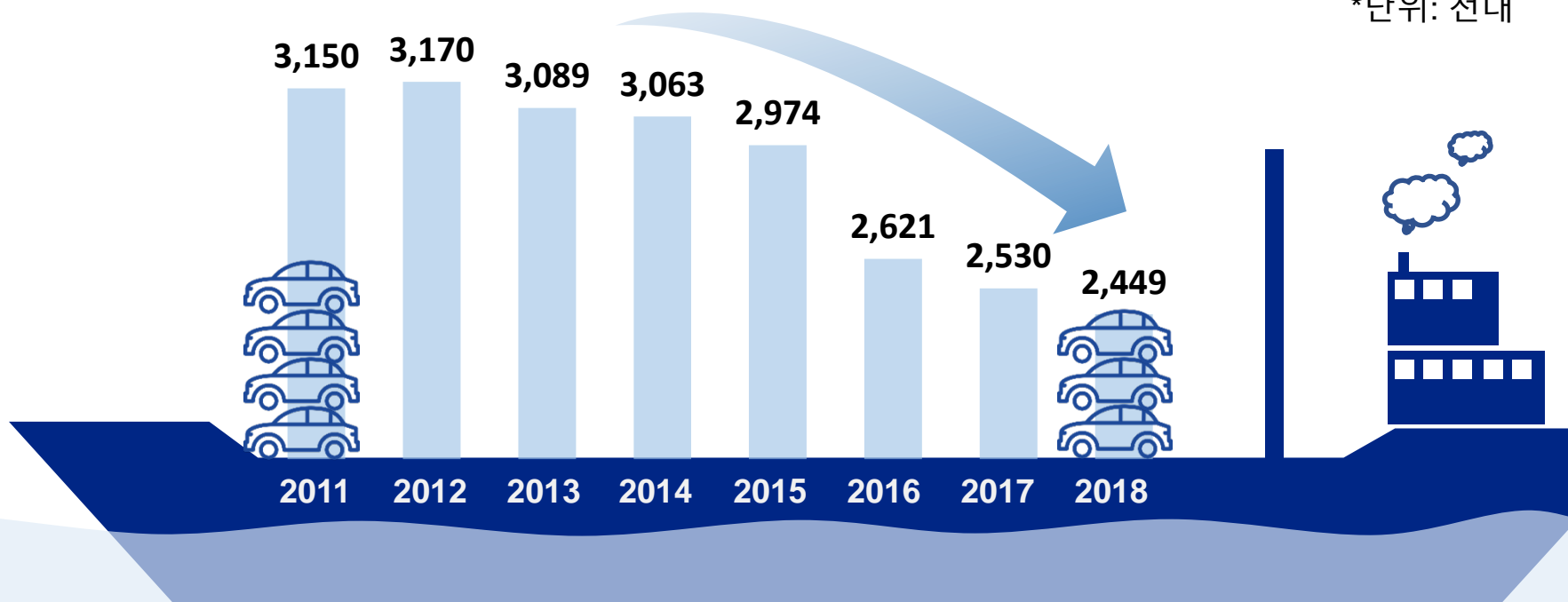


|       |                   |
|-------|-------------------|
| 제조업   | 1,414,212십억원      |
| 자동차산업 | 196,634십억원 13.90% |

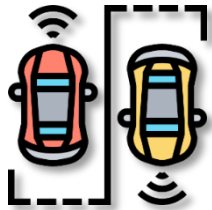


|       |                   |
|-------|-------------------|
| 총수출   | 495,426백만불        |
| 자동차산업 | 65,720 백만불 13.27% |

\*단위: 천대



# 자동차 산업의 미래



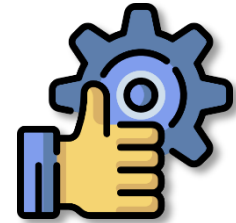
초연결성



자율주행



공유경제



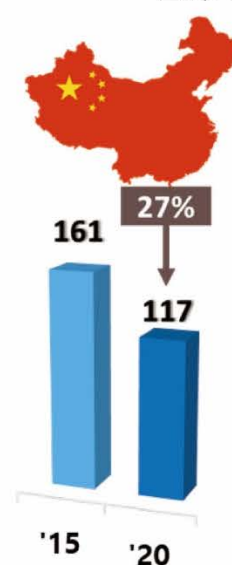
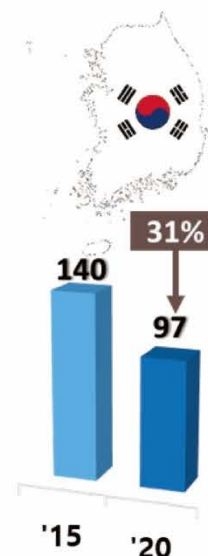
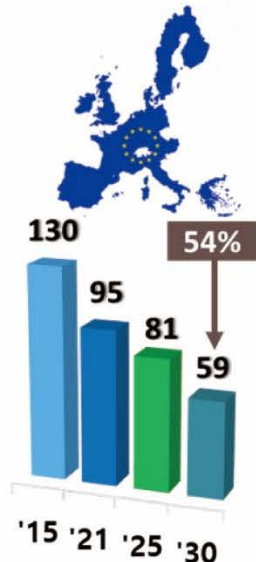
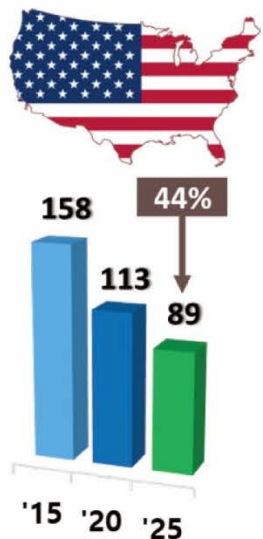
4차산업혁명



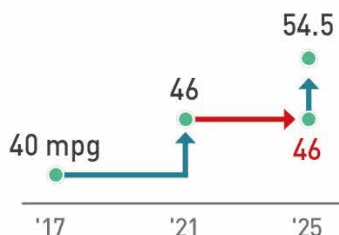


# 세계 각국의 이산화탄소 및 연비 규제 동향

단위: gCO<sub>2</sub>/km

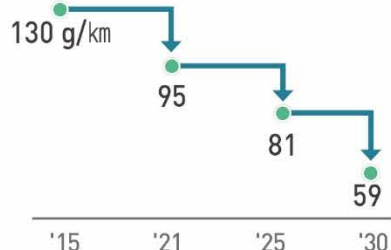


## 연비 규제(CAFE)



※ 0.1mpg당 \$14 X 총 판매물량 벌금  
미 정부 연비규제 완화 움직임('18년)

## CO<sub>2</sub> 발생량



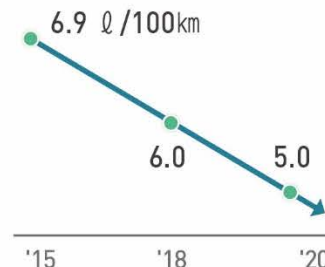
※ 1g/km 당 €95 X 총 판매물량 벌금  
CO<sub>2</sub> 50g/km ↓ 차량 3.5 슈퍼크레딧

## CO<sub>2</sub> / 연비규제



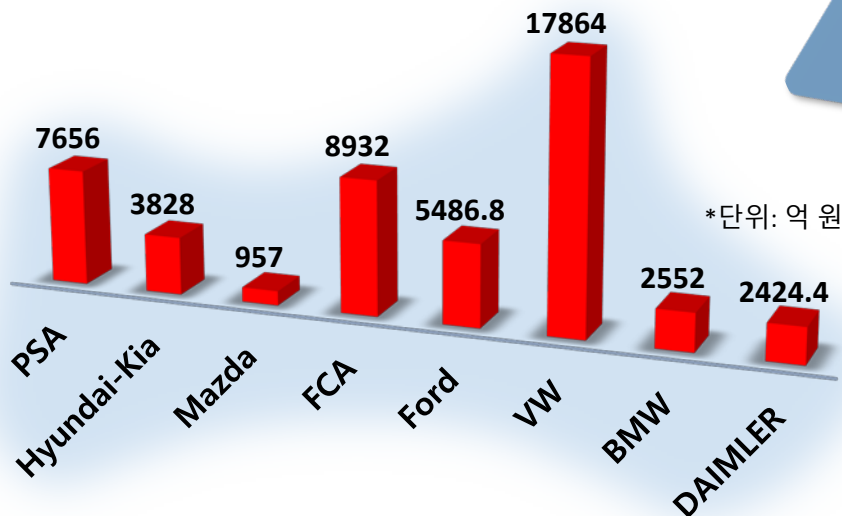
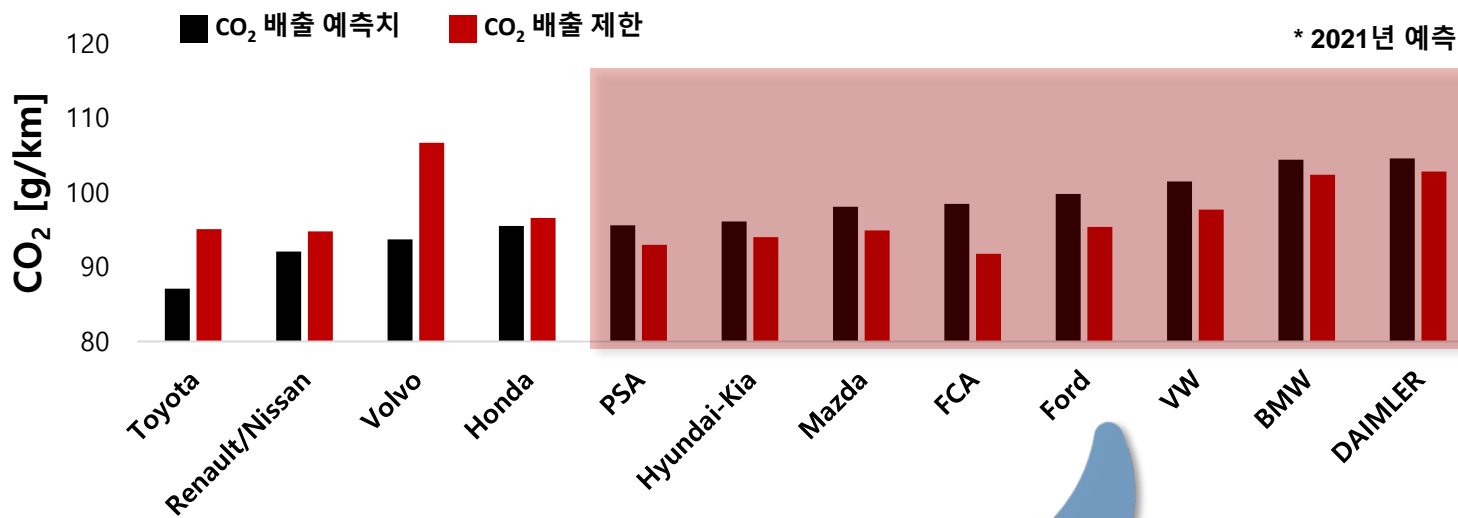
\*공차중량 1552 kg 기준 (2016 평균)  
※ CO<sub>2</sub> 또는 연비 규제 중 선택 가능  
~'19년 3만원/g, '20년 5만원/g  
FCEV 5 / EV 3 슈퍼크레딧

## 4단계 연비 규제



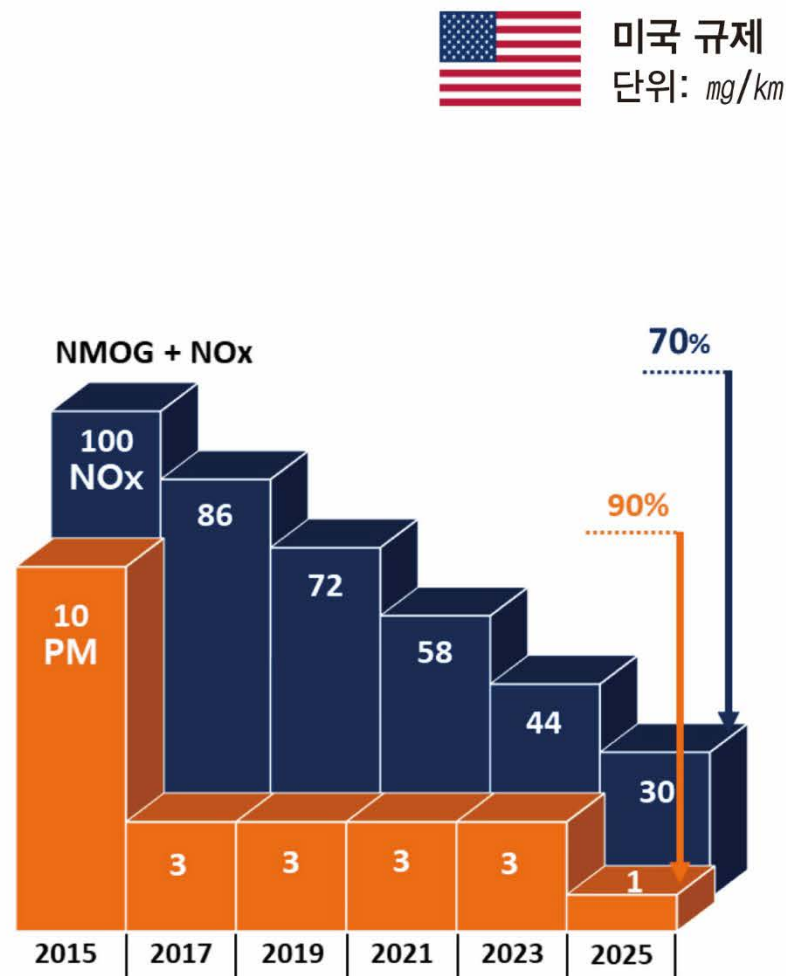
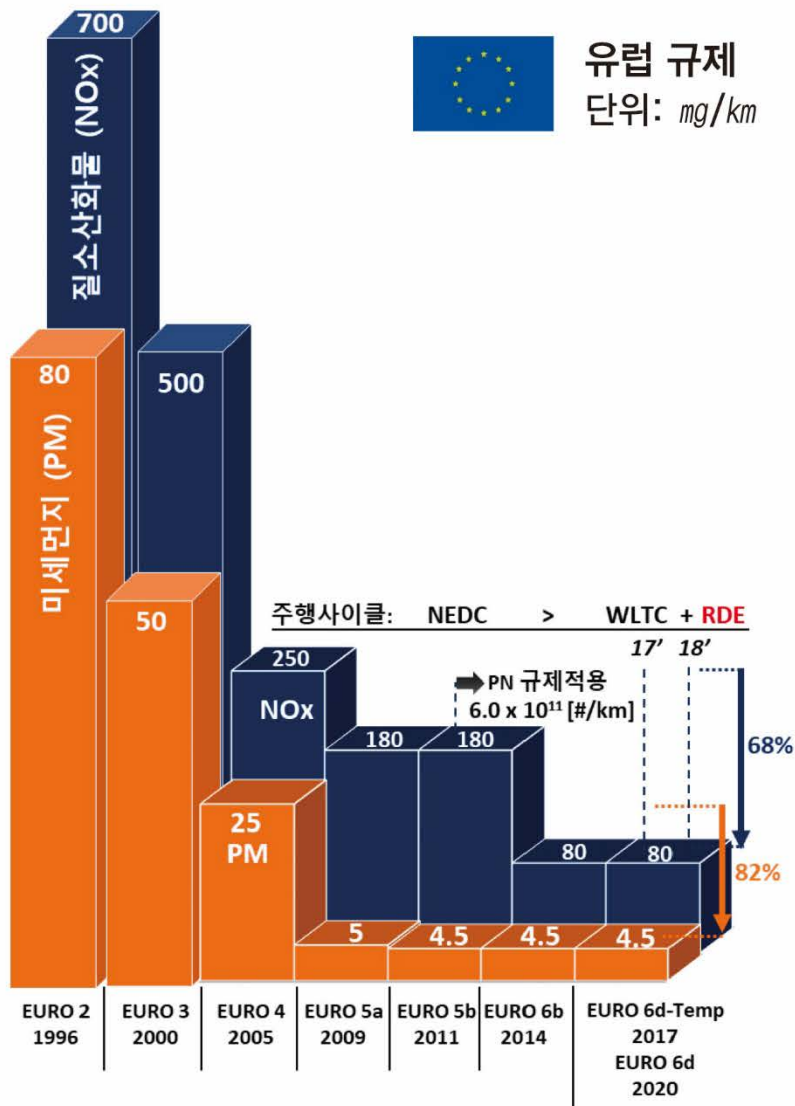
※ 불만족 시, 인증/판매 제한 등 예상  
FCEV / EV / PHEV 대당 2대 인정 ('20년)

# CO2 패널티 예측 (EU)





# 배출가스 규제(NO<sub>x</sub>, PM)

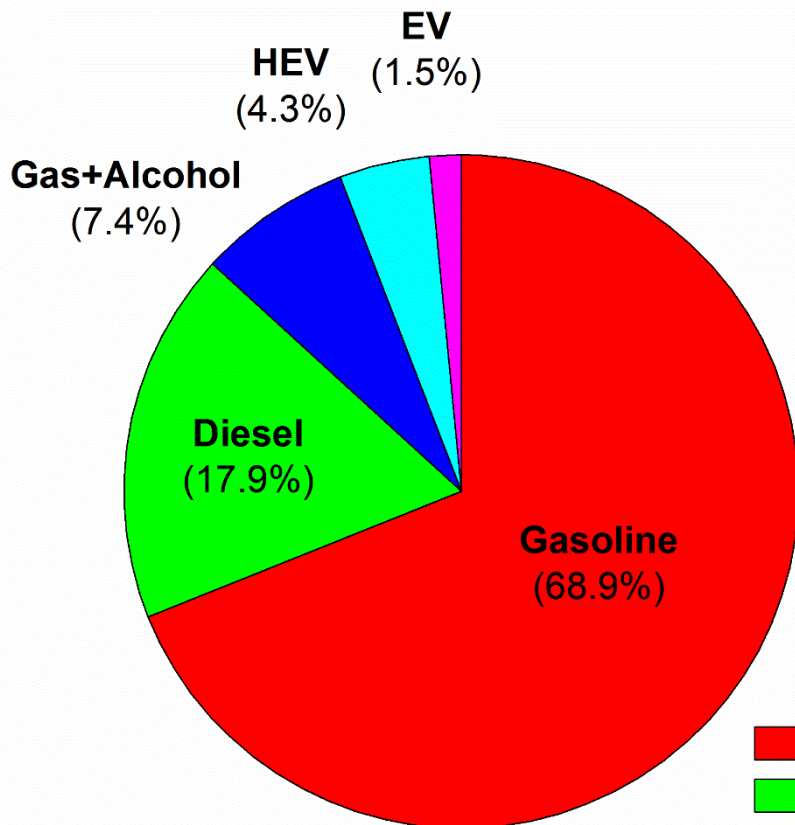


\*Phase in from 2025 to 2028



# 2018년 세계, 국내 자동차 시장 현황

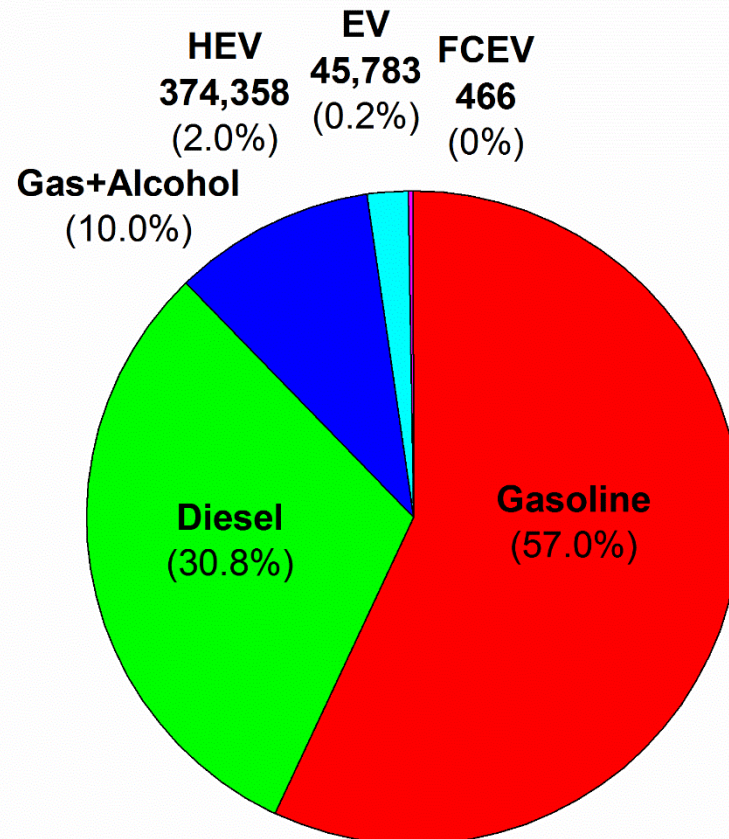
2018년 세계 승용 부문  
자동차 기술 별 판매 비율 [%]



총 97,000,000 대



2018년 국내 승용 부문  
자동차 기술 별 등록 비율 [%]



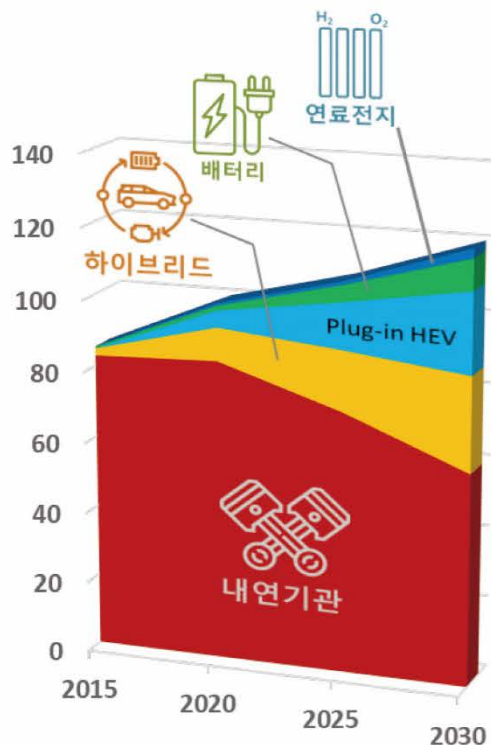
총 18,000,000 대

Source: 국토교통부 통계누리, 2019

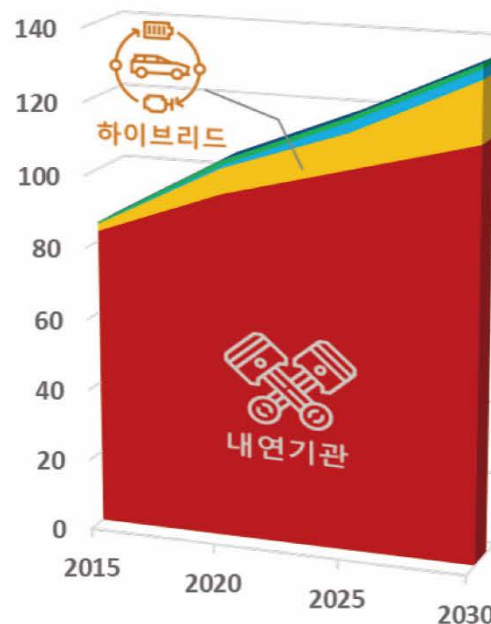
# 자동차 시장 전망의 다양성

## 2030년 세계 승용차 시장 전망

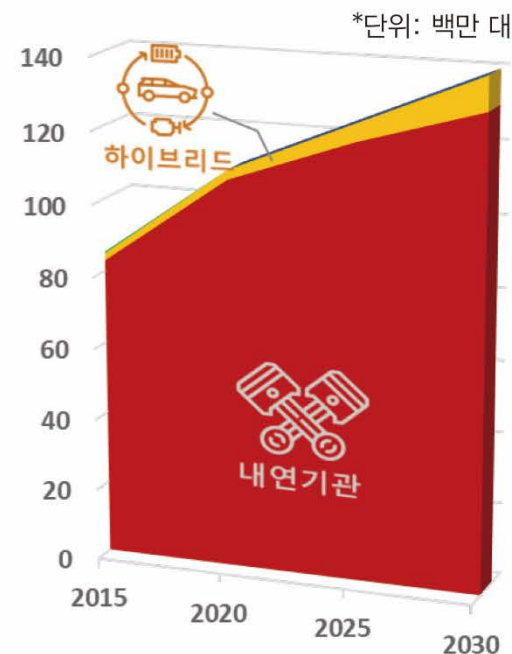
### 급진 시나리오



### 혁신 시나리오



### 기준 시나리오

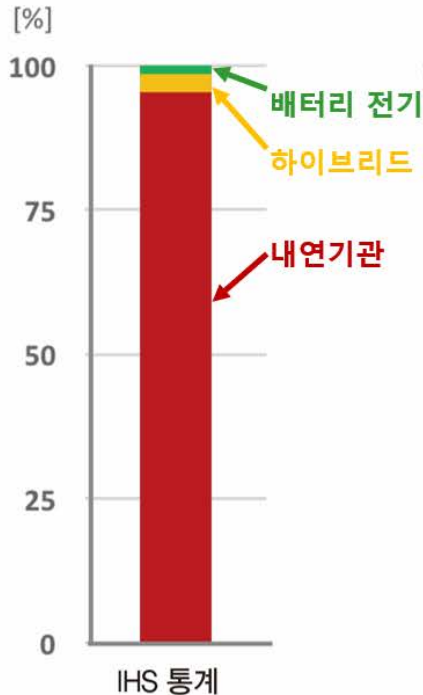


Source: Energy Technology Perspectives, IEA, 2012, 2015, 2017

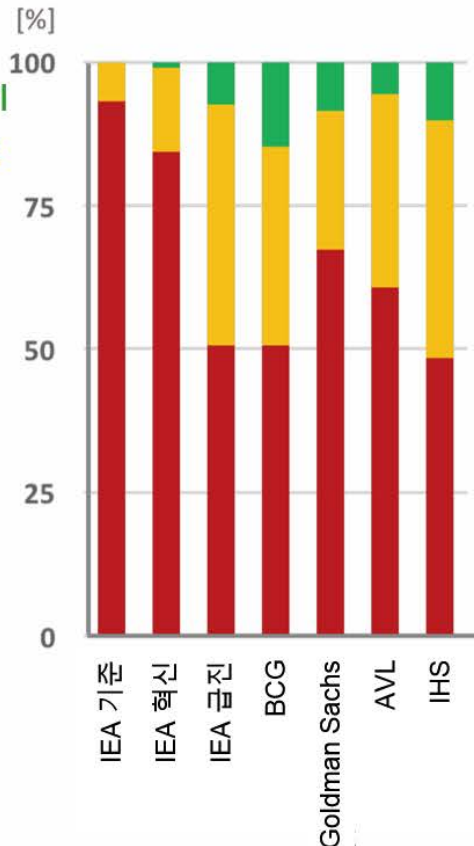
- ❖ 하나의 기관(IEA) 내에서도 시나리오 별 다양한 자동차 시장 전망을 보임.
- ❖ 자동차 시장 전망은 지역, 시기, 상황, 수행기관에 따라 다양성을 보임.

# 자동차 시장 전망의 다양성

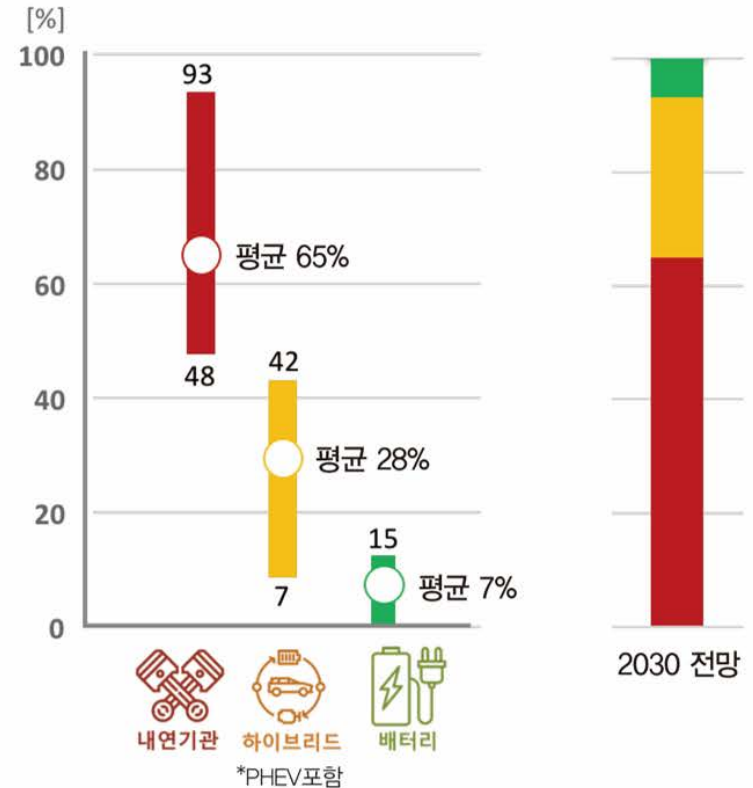
2018 현재



2030년 승용 자동차 시장 전망



2030년 동력원 전망



❖ **다양한 자동차 시장 전망**은 미래 자동차 기술 예측에 있어 어려움을 갖게 함.  
→ 에너지 정책 및 환경규제 등 종합적인 시각으로 **국내 실정에 맞는 포괄적이고 일관된 자동차 기술 로드맵 작성**이 필요함.

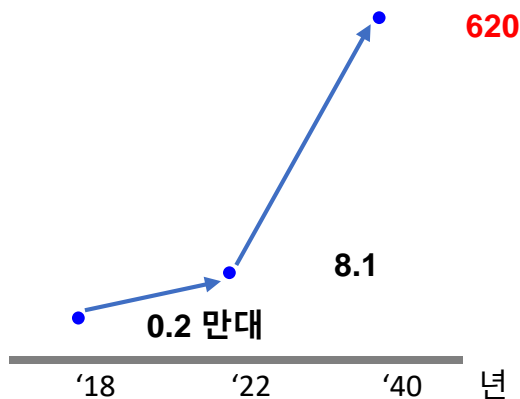
# 한국의 수소 생태계 구축 계획

## 정부 수소경제 로드맵 발표 ('19년 1월17일, 울산)

- ❖ '18년 산업혁신2020플랫폼에 이은 현 정부 수소 관련 산업 육성 정책 발표
- ❖ “국가에너지시스템을 근본적으로 바꾸면서 신성장동력을 마련할 수 있는 기회”
- ❖ 수소차 생산량 확대, 수소충전소 확충, 수소 대중교통 보급, 수소 생산 및 공급 시스템 조성 등

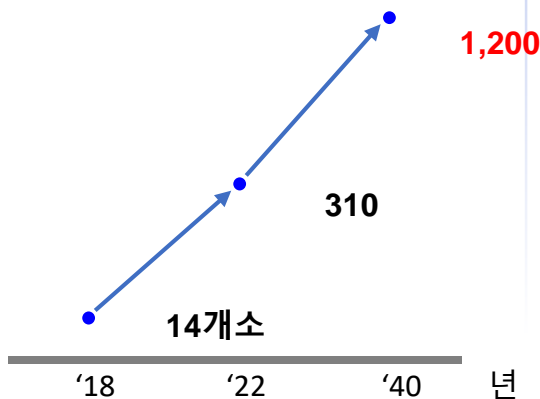
### 수소전기차 생산 확대

- ❖ '40년 세계시장 점유율 1위 목표
- ❖ 수소 승용차 총생산 620만대:  
내수 290, 수출 330(만대) 목표



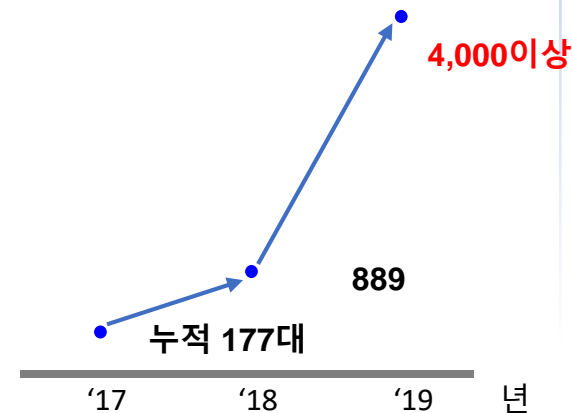
### 수소충전소 확대

- ❖ 입지제한, 이격거리 등 규제완화
- ❖ 주요 도심 거점에 충전소 구축



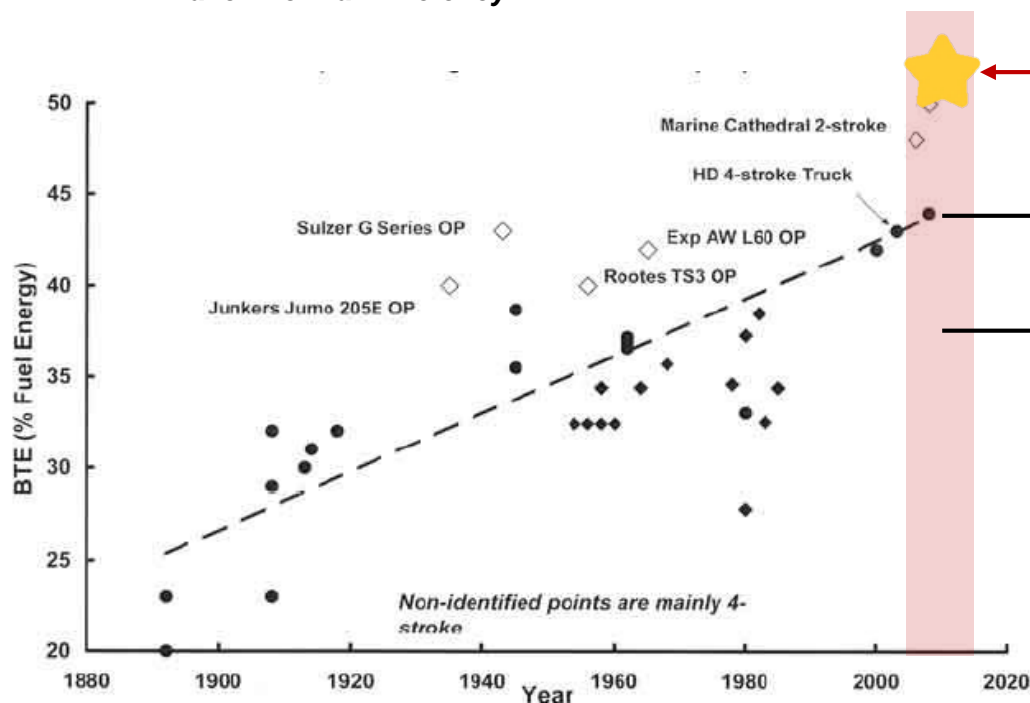
### 수소전기차 보급

- ❖ '40년 수소택시 8만대, 수소버스 4만대, 수소트럭 3만대 보급



## 내연기관의 열효율(BTE) 추이

BTE\* : Brake Thermal Efficiency



Source: Achates Power, 2010

### Volvo Super Truck Program II

Target Avg. BTE > 55% at 65mph cruise

**Diesel**

BTE 40~45%

**Gasoline**

BTE 35~40%

2019년 현재  
승용 차량 효율

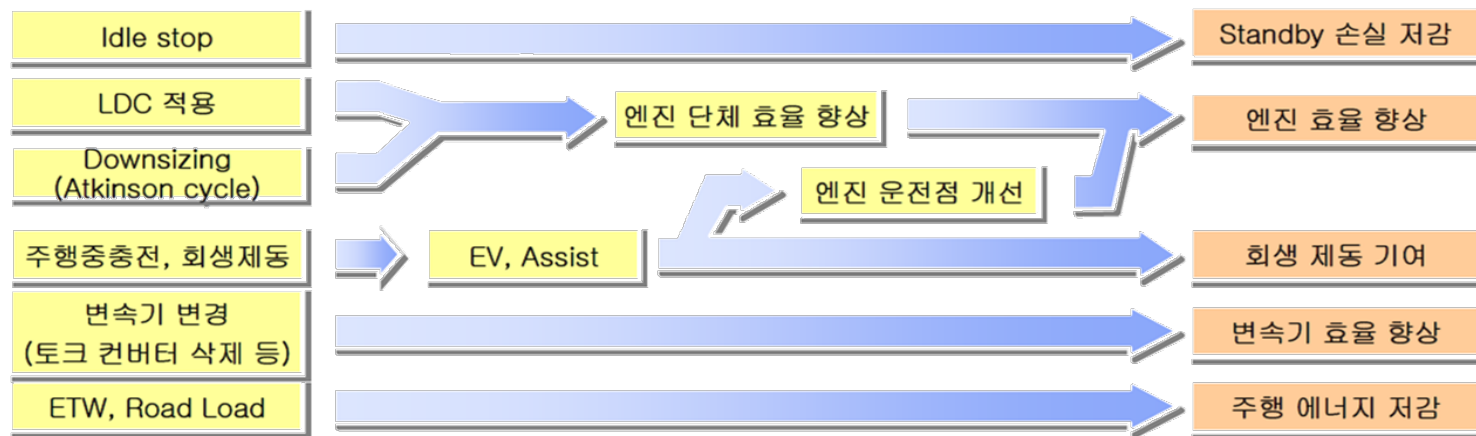


- ❖ 내연기관의 **효율 향상 및 배기가스 배출 저감**은 꾸준히 발전되고 있음.
  - **효율: 2배 증가** (1910-2010), **입자상물질 (미세먼지 포함): 1/100 감소** (2000-2018)
- ❖ 탁월한 경제성과 기술완성도로 말미암아 현재 **세계 자동차의 약 95% 이상이 내연기관 모델로 판매되고 있음.**



# 하이브리드의 성공 요인 – 연비 향상

## 하이브리드 자동차 연비 향상 상호 관계



Source: 현대자동차 자동차공학회 발표자료

### ❖ 하이브리드 자동차의 연비 향상 요인

(아이오닉 HEV 복합연비: 22.4 km/L,  
아반떼 가솔린 복합연비: 15.2 km/L) } 약 47% 향상

- 아이들 손실 저감
- 전용 내연기관 효율 향상
- 회생제동
- 엔진-전기동력 분배
- 변속기 효율 향상

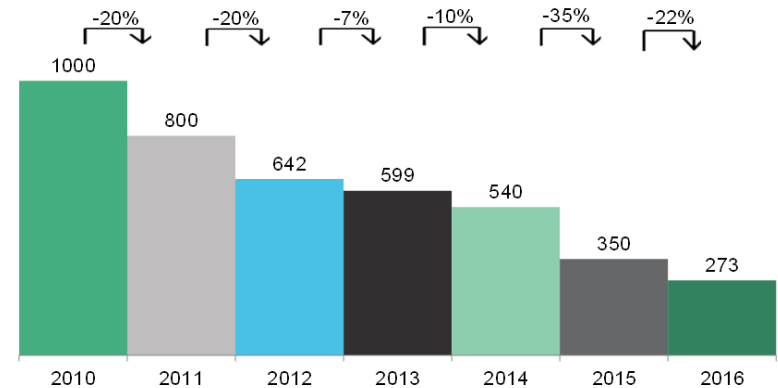


# 배터리 전기의 성공 요인(1) – 배터리 가격 하락

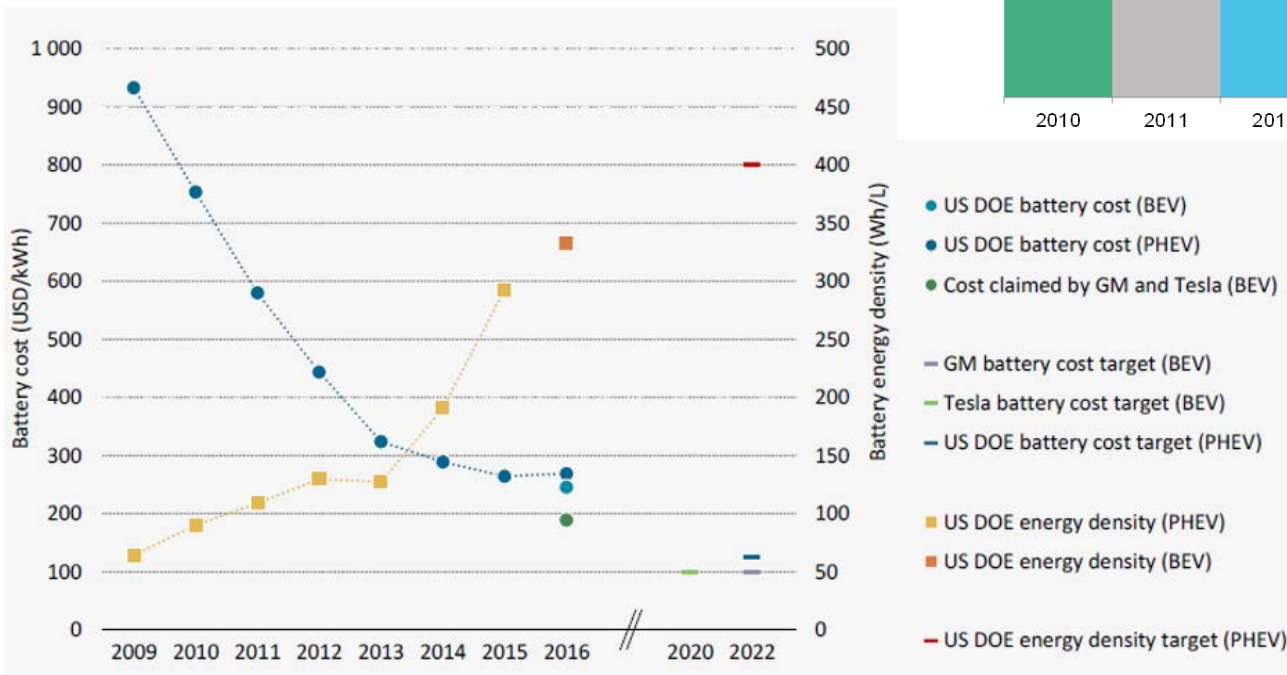
❖ 최근 자동차 제조업체의 증가하는 배터리 수요에 따라 **배터리 가격이 꾸준히 감소하고 있음.**

리튬이온 배터리 가격  
[\$/kWh], 2010~2016

Source: Bloomberg New Energy Finance, 2017



❖ 리튬이온 배터리 가격 및 에너지 밀도

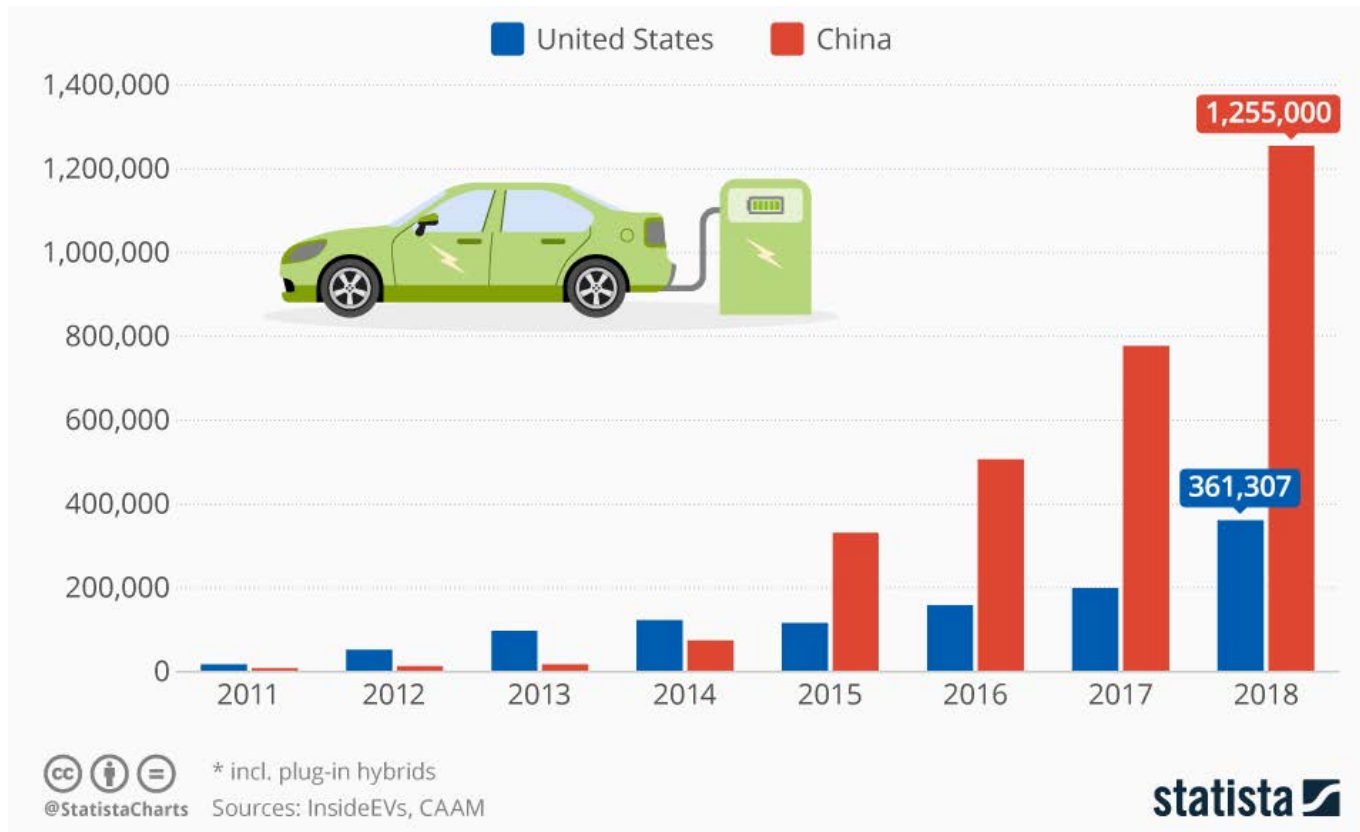


Source : Global EV Outlook 2017, IEA



## 배터리 전기의 성공 요인(2) – 정부 주도의 지원 정책

### ❖ 중국, 미국에서의 전기차 판매량



- ❖ 중국과 미국은 세계 전기차 시장을 선도하고 있음.
- ❖ 중국은 신 에너지차 크레딧 의무제, 전기차 보조금 정책, 내연기관 번호판 발급 제한 등으로 배터리 전기차의 수급을 조절하고 있음.

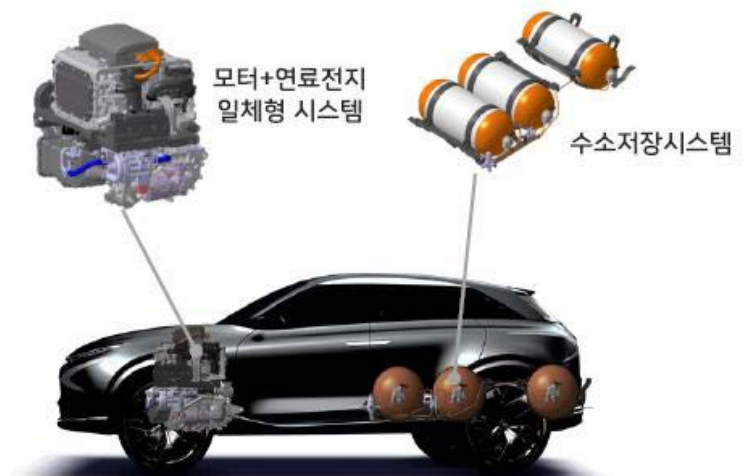
## 연료전지의 성공 요인(1) – 차량 단위 친환경성



ZERO Emission



### 연료전지 동력 장치 및 수소 저장시스템

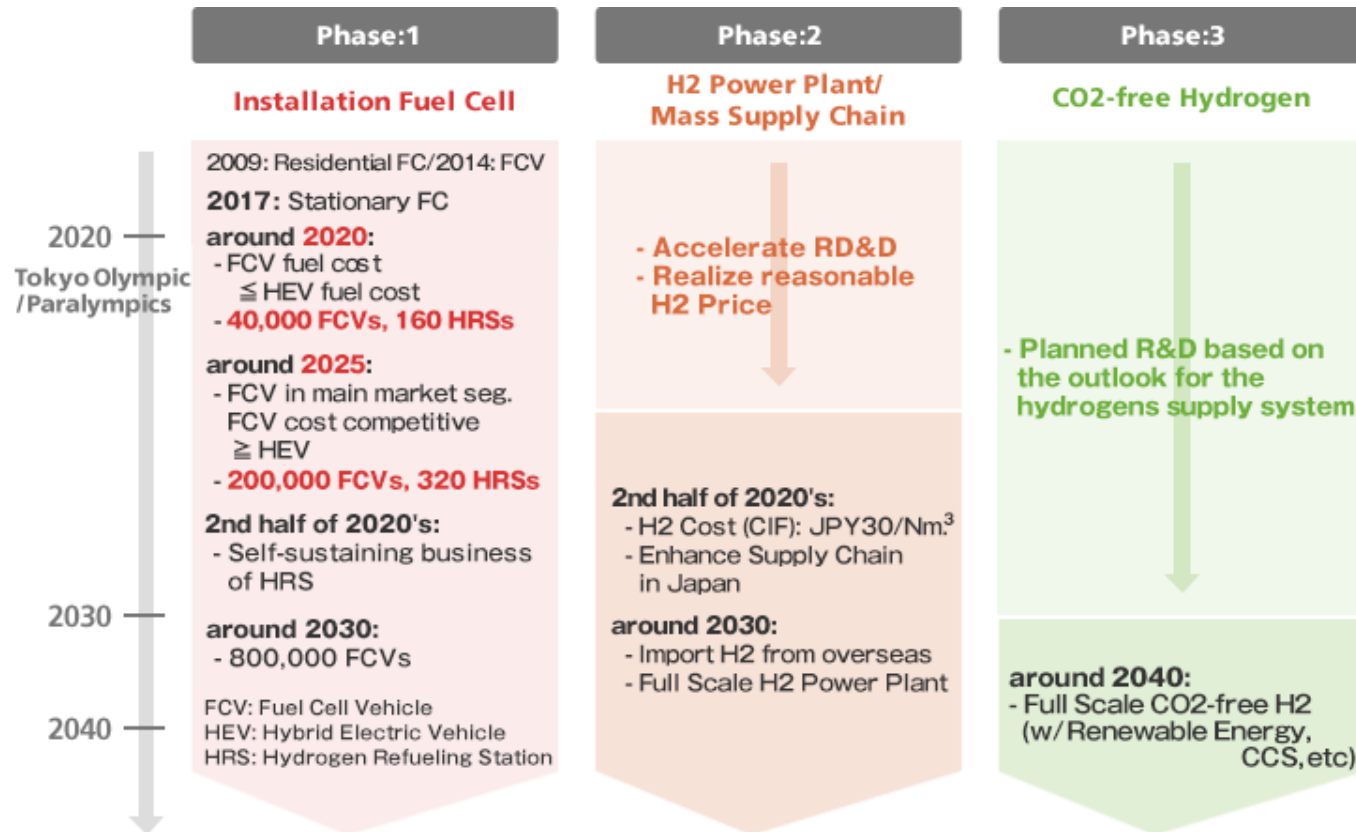


Source : 현대자동차 수소 연료전지, NH 투자증권 리서치 본부

- ❖ 운행 중 발생하는 온실가스 배출 없음.
- ❖ 연료전지 핵심부품 국내 독자기술 확보 등의 선도적인 기술력
  - 연료전지 + 구동모터 일체형
  - 3탱크 수소저장 시스템

# 연료전지의 성공 요인(2) – 정부 주도의 지원 정책

## ❖ 일본의 수소경제 로드맵

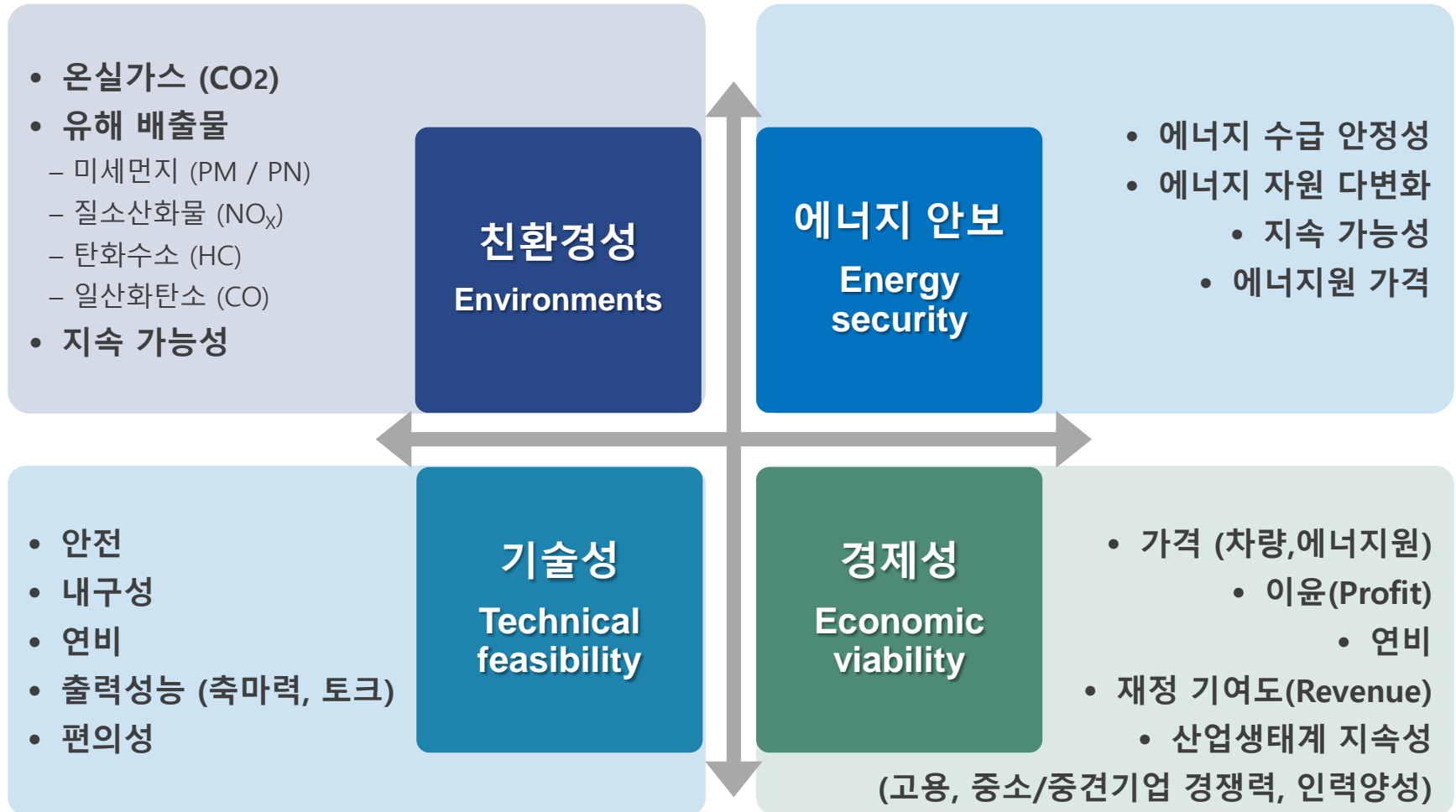


Source : Hydrogen Energy Navi, 2019

- ❖ 일본은 2011년 대지진 이후 원자력 발전의 위험성 및 에너지 수급문제 해결을 위해 세계에서 가장 적극적으로 수소에너지 정책을 펼치고 있음.
- ❖ 초기 수소에너지 수요 핵심을 수소 연료전지 전기차 보급으로 설정

# 자동차 기술 적합성 판단의 고려사항

## 자동차 기술 적합성 판단의 고려사항



# 자동차 기술별 적합성 분석 – Merit 함수 예제

❖ 각 자동차 기술의 적합성의 정량적 비교 평가 예시  
– 예제. 2018년 자동차 기술별 최신 모델

동급 준중형 비교  
동급 SUV 비교



|                                  | 아반떼 1.6<br>가솔린 | 아반떼 1.6<br>디젤 | 아이오닉<br>HEV | 아이오닉<br>EV | 넥쏘<br>FCEV    | 투싼 2.0<br>디젤 |
|----------------------------------|----------------|---------------|-------------|------------|---------------|--------------|
| 최고출력<br>(PS)                     | 123            | 136           | 105/43.5    | 119.7      | 154           | 186          |
| 최대토크<br>(kgf·m)                  | 15.7           | 30.6          | 15/17.3     | 30.1       | 40.3          | 41           |
| 공차중량<br>(kg)                     | 1,290          | 1,355         | 1380        | 1430       | 1820          | 1670         |
| 복합연비<br>(km/L)                   | 15.2           | 17.8          | 22.4        | 6.3 km/kWh | 96.2<br>Km/kg | 14.4         |
| 주행거리<br>(km)                     | 714            | 837           | 1,000       | 200        | 609           | 893          |
| TTW CO <sub>2</sub><br>[g/km]*   | 108            | 104           | 69          | 0          | 0             | 131          |
| TTW PM <sub>10</sub><br>[g/km]** | 0.0145         | 0.015         | 0.0145      | 0.011      | 0.0112        | 0.015        |

\* 현대자동차 홈페이지 참조, \*\*Argonne National Laboratory 홈페이지 참조 추산

# 자동차 기술별 적합성 분석 – Merit 함수 예제

$$F = \frac{1000}{f_1(x)^2 + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x)}$$

$$f_1(x) = \frac{(f_1')_{\text{가솔린 엔진}}}{(f_1')_{\text{자동차 기술}}}$$

$$f_2(x) = \frac{(f_2')_{\text{가솔린 엔진}}}{(f_2')_{\text{자동차 기술}}}$$

$$f_3(x) = \frac{(f_3')_{\text{가솔린 엔진}}}{(f_3')_{\text{자동차 기술}}}$$

$$f_4(x) = 1$$

$f_1', f_2', f_3'$ 의 구체적인 식은  
다음 쪽 참고

| F              | 기술별 우수성 판별 함수                   |
|----------------|---------------------------------|
| 친환경성 $f_1(x)$  | 이산화탄소, 미세먼지 (PM <sub>10</sub> ) |
| 기술성 $f_2(x)$   | 출력, 토크, 주행거리                    |
| 경제성 $f_3(x)$   | 차량 가격 (세제 혜택 포함)                |
| 에너지안보 $f_4(x)$ | 1                               |

- ❖ 자동차 기술에서 **4가지 고려사항을 종합적으로 분석**하여 적합성을 판별하기 위해 Merit 함수를 적용
  - 4가지 고려사항 및 구체적으로 계산한 항목은 위의 표와 같음.
  - 최근 문제화되고 있는 친환경성  $f_1(x)$ 에 가중치를 부여
  - 현 단계에서 에너지 안보는 직접적 비교가 불가능하여 1로 가정
- ❖ 현재 **현대자동차에서 출시하는 총 6종의 차량을 비교**
  - 동급의 준중형 비교: 가솔린 엔진, 디젤 엔진, HEV, BEV
  - 동급의 SUV 모델: 수소 연료전지, 디젤 엔진
  - 비교 항목별 구체적인 값은 8쪽에 제시
  - Tank-to-Wheel CO<sub>2</sub> 값은 현대자동차 홈페이지 참조
  - Well-to-Wheel CO<sub>2</sub> 값은 서울대학교 송한호 교수님 연구 참조
  - Tank-to-Wheel PM<sub>10</sub> & Well-to-Wheel PM<sub>10</sub> 값은 Argonne National Laboratory 홈페이지 참조 추산

# 자동차 기술별 적합성 분석 – Merit 함수 예제

$$F = \frac{1000}{f_1(x)^2 + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x)}$$

| F              | 기술별 우수성 판별 함수                   |
|----------------|---------------------------------|
| 친환경성 $f_1(x)$  | 이산화탄소, 미세먼지 (PM <sub>10</sub> ) |
| 기술성 $f_2(x)$   | 출력, 토크, 주행거리                    |
| 경제성 $f_3(x)$   | 차량 가격 (세제 혜택 포함)                |
| 에너지안보 $f_4(x)$ | 1                               |

$$f_1(x) = \frac{(f_1')_{\text{가솔린 엔진}}}{(f_1')_{\text{자동차 기술}}}$$

$$f_1'(x) = \frac{1000}{\left(\frac{\text{자동차 기술}}{\text{가솔린 엔진}}\right)_{CO_2} + \left(\frac{\text{자동차 기술}}{\text{가솔린 엔진}}\right)_{PM_{10}}}$$

$$f_2(x) = \frac{(f_2')_{\text{가솔린 엔진}}}{(f_2')_{\text{자동차 기술}}}$$

$$f_2'(x) = \frac{1000}{\left(\frac{\text{가솔린 엔진}}{\text{자동차 기술}}\right)_{\text{출력}} + \left(\frac{\text{가솔린 엔진}}{\text{자동차 기술}}\right)_{\text{토크}} + \left(\frac{\text{가솔린 엔진}}{\text{자동차 기술}}\right)_{\text{주행거리}}}$$

$$f_3(x) = \frac{(f_3')_{\text{가솔린 엔진}}}{(f_3')_{\text{자동차 기술}}}$$

$$f_3'(x) = \frac{1000}{\left(\frac{\text{자동차 기술}}{\text{가솔린 엔진}}\right)_{\text{차량가격}}}$$

$$f_4(x) = 1$$

$$f_4'(x) = 1000$$



# Merit 함수 - 차량 단위 (Tank-to-Wheel) 분석

$$F = \frac{1000}{f_1(x)^2 + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x)}$$

친환경성 가중치

| F              | 기술별 우수성 판별 함수                   |
|----------------|---------------------------------|
| 친환경성 $f_1(x)$  | 이산화탄소, 미세먼지 (PM <sub>10</sub> ) |
| 기술성 $f_2(x)$   | 출력, 토크, 주행거리                    |
| 경제성 $f_3(x)$   | 차량 가격 (세제 혜택 포함)                |
| 에너지안보 $f_4(x)$ | 1                               |

|          | 판별 함수    | 가솔린 엔진 | 디젤 엔진 | 하이브리드 | 배터리 전기 | H <sub>2</sub> 연료전지 |
|----------|----------|--------|-------|-------|--------|---------------------|
| $f_1(x)$ | 이산화탄소    | -      | -     | +     | ++     | ++                  |
|          | 미세먼지     | +      | -     | +     | ++     | ++                  |
| $f_2(x)$ | 출력       | +      | ++    | ++    | +      | -                   |
|          | 토크       | +      | ++    | ++    | ++     | ++                  |
|          | 주행거리     | +      | ++    | ++    | --     | -                   |
| $f_3(x)$ | 차량가격     | ++     | ++    | +     | -      | --                  |
| F        | Merit 함수 | +      | +     | ++    | -      | -                   |

❖ 당분간 내연기관 및 하이브리드 자동차의 종합적인 적합성이 높음.

❖ 신에너지 기술이 내연기관 및 하이브리드 수준의 적합성을 갖기 위한 극복 과제

→ 배터리 전기 자동차: 주행거리 (650 km) & 경제성 (차량 가격 700만원 하락)

→ 수소 연료전지 자동차: 경제성 (차량 가격 3,000만원 하락)

# Merit 함수 - 차량 단위 분석: 노후 경유차 (EURO 3)

$$F = \frac{1000}{f_1(x)^2 + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x)}$$

친환경성 가중치

| F              | 기술별 우수성 판별 함수                   |
|----------------|---------------------------------|
| 친환경성 $f_1(x)$  | 이산화탄소, 미세먼지 (PM <sub>10</sub> ) |
| 기술성 $f_2(x)$   | 출력, 토크, 주행거리                    |
| 경제성 $f_3(x)$   | 차량 가격 (세제 혜택 포함)                |
| 에너지안보 $f_4(x)$ | 1                               |

|          | 판별 함수    | 가솔린 엔진 | 디젤 엔진 | 하이브리드 | 배터리 전기 | H <sub>2</sub> 연료전지 |
|----------|----------|--------|-------|-------|--------|---------------------|
| $f_1(x)$ | 이산화탄소    | -      | -     | +     | ++     | ++                  |
|          | 미세먼지     | +      | --    | +     | ++     | ++                  |
| $f_2(x)$ | 출력       | +      | ++    | ++    | +      | -                   |
|          | 토크       | +      | ++    | ++    | ++     | ++                  |
|          | 주행거리     | +      | ++    | ++    | --     | -                   |
| $f_3(x)$ | 차량가격     | ++     | ++    | +     | -      | --                  |
| F        | Merit 함수 | +      | --    | ++    | -      | -                   |

- ❖ 노후 경유차 (EURO 3)는 열악한 수준의 미세먼지 배출로 적합성이 급격히 감소함.
- ❖ 단기적으로 노후 경유차를 대체하고, 증기적으로 신규 경유차의 후처리장치 기술에 투자하여 미세먼지 저감에 기여 (신규 경유차 미세먼지 배출 = EURO 6 × 1/10)

# Merit 함수 - 차량 단위 분석: 신규 경유차 (EURO 6 × 1/10)

$$F = \frac{1000}{f_1(x)^2 + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x)}$$

친환경성 가중치

| F              | 기술별 우수성 판별 함수                   |
|----------------|---------------------------------|
| 친환경성 $f_1(x)$  | 이산화탄소, 미세먼지 (PM <sub>10</sub> ) |
| 기술성 $f_2(x)$   | 출력, 토크, 주행거리                    |
| 경제성 $f_3(x)$   | 차량 가격 (세제 혜택 포함)                |
| 에너지안보 $f_4(x)$ | 1                               |

|          | 판별 함수    | 가솔린 엔진 | 디젤 엔진 | 하이브리드 | 배터리 전기 | H <sub>2</sub> 연료전지 |
|----------|----------|--------|-------|-------|--------|---------------------|
| $f_1(x)$ | 이산화탄소    | -      | -     | +     | ++     | ++                  |
|          | 미세먼지     | +      | ++    | +     | ++     | ++                  |
| $f_2(x)$ | 출력       | +      | ++    | ++    | +      | -                   |
|          | 토크       | +      | ++    | ++    | ++     | ++                  |
|          | 주행거리     | +      | ++    | ++    | --     | -                   |
| $f_3(x)$ | 차량가격     | ++     | ++    | +     | -      | --                  |
| F        | Merit 함수 | +      | ++    | +     | -      | -                   |

- ❖ 노후 경유차 (EURO 3)는 열악한 수준의 미세먼지 배출로 적합성이 급격히 감소함.
- ❖ 단기적으로 노후 경유차를 대체하고, 증기적으로 신규 경유차의 후처리장치 기술에 투자하여 미세먼지 저감에 기여 (신규 경유차 미세먼지 배출 = EURO 6 × 1/10)

# Merit 함수 - 전주기적 (Well-to-Wheel) 분석

$$F = \frac{1000}{f_1(x)^2 + f_2(x) + f_3(x) + f_4(x)}$$

친환경성 가중치

| F              | 기술별 우수성 판별 함수                   |
|----------------|---------------------------------|
| 친환경성 $f_1(x)$  | 이산화탄소, 미세먼지 (PM <sub>10</sub> ) |
| 기술성 $f_2(x)$   | 출력, 토크, 주행거리                    |
| 경제성 $f_3(x)$   | 차량 가격 (세제 혜택 포함)                |
| 에너지안보 $f_4(x)$ | 1                               |

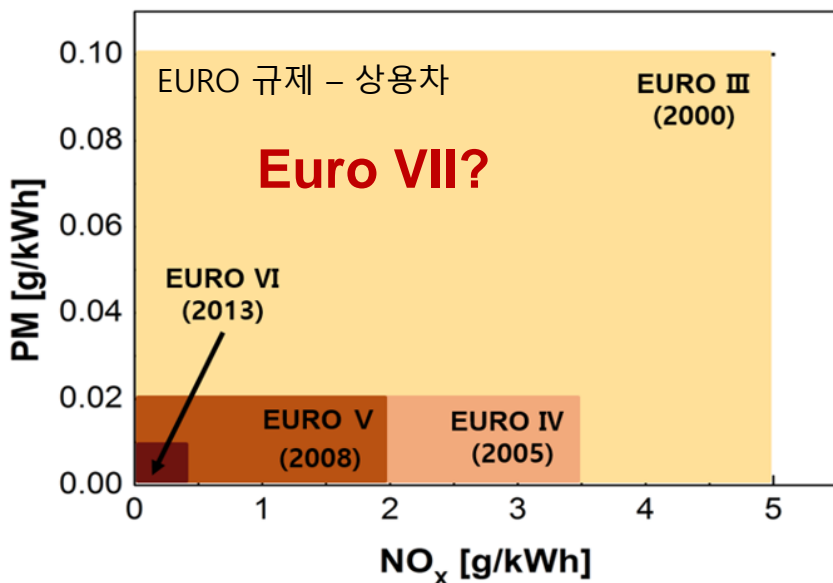
|          | 판별 함수    | 가솔린 엔진 | 디젤 엔진 | 하이브리드 | 배터리 전기 | H <sub>2</sub> 연료전지 |
|----------|----------|--------|-------|-------|--------|---------------------|
| $f_1(x)$ | 이산화탄소    | -      | -     | +     | +      | +                   |
|          | 미세먼지     | -      | -     | +     | -      | ++                  |
| $f_2(x)$ | 출력       | +      | ++    | ++    | +      | -                   |
|          | 토크       | +      | ++    | ++    | ++     | ++                  |
|          | 주행거리     | +      | ++    | ++    | --     | -                   |
| $f_3(x)$ | 차량가격     | ++     | ++    | +     | -      | --                  |
| F        | Merit 함수 | +      | ++    | ++    | -      | -                   |

❖ 배터리 전기자동차 및 수소 연료전지 자동차는 운행 중에 배출되는 CO<sub>2</sub> = 0 이지만, 전주기적 분석을 통해 도출된 값을 반영하면, 적합도가 더욱 감소함.

- 배터리 전기 : 발전원에서 발생하는 온실가스 배출
- H<sub>2</sub> 연료전지 : 수소 생산에서 발생하는 온실가스 배출

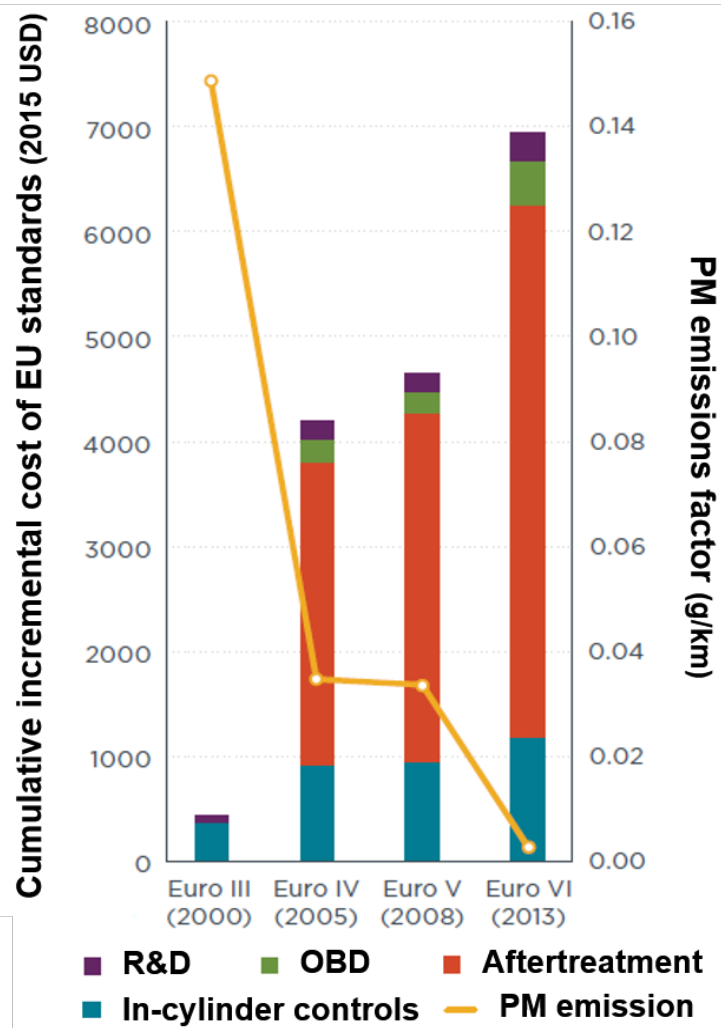
# 내연기관 극복 과제 – 친환경성

## 배기규제 강화 추이



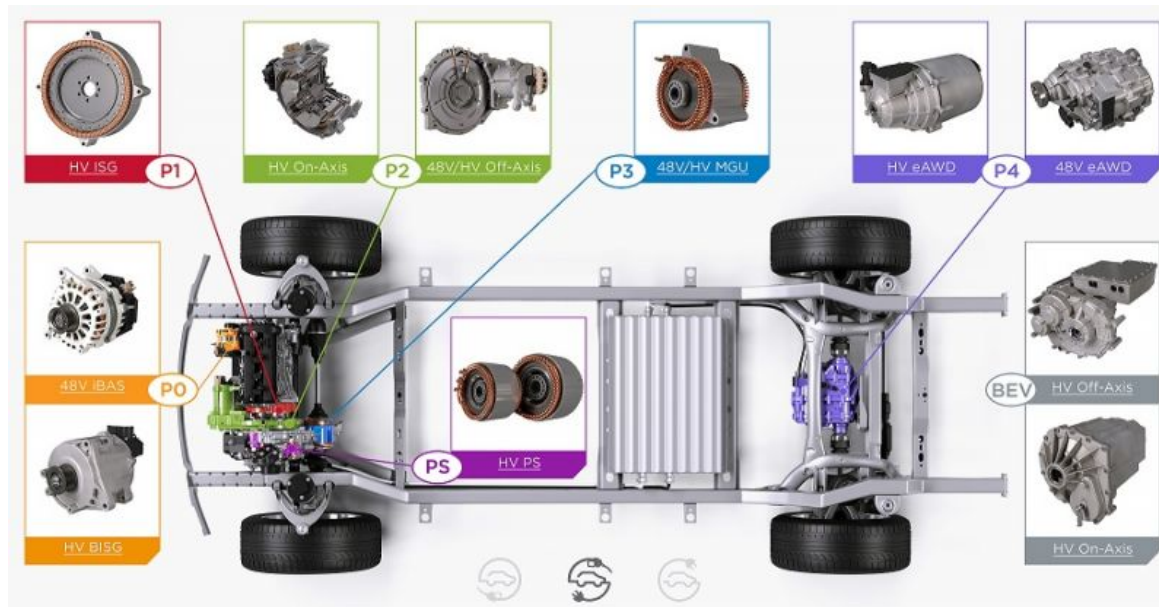
- ❖ EURO III 대비 EURO VI 규제 **1/10 수준**
  - ❖ 현재 내연기관은 배기 규제 만족을 위한 후처리 기술이 존재하나, 규제 만족을 위한 추가 비용이 발생함.
- **고효율, 저배기 내연기관 기술을 꾸준히 개발해야 함.**

## 규제 만족 비용 상승 추이



Source : International Council on Clean Transportation, 2016

# 하이브리드 극복 과제 - 시스템 복잡성, 가격

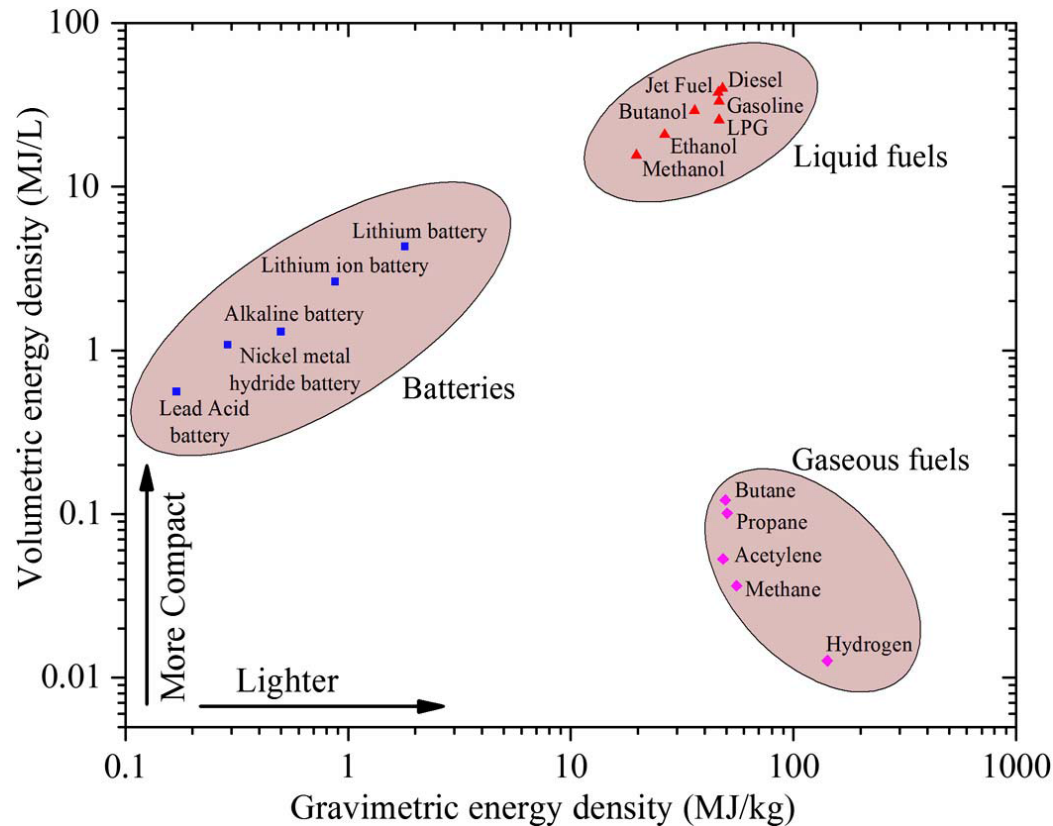


Source : Borgwarner, 2017

- ❖ 엔진-전기동력의 시스템 복잡성
  - ❖ 전기동력 설치에 따른 가격 상승
- 하이브리드 동력 구조 및 배치의 단순화,  
가격 하락이 요구됨.



# 전기자동차의 극복 과제 – 낮은 에너지밀도



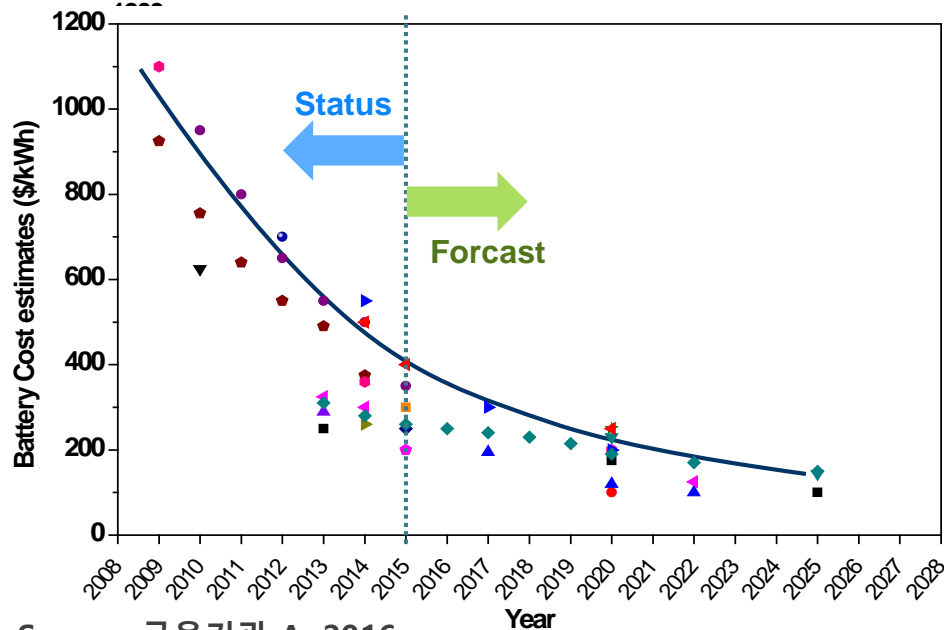
Source : Material Science and Engineering, 2012

- ❖ 리튬 이온 배터리의 에너지 밀도는 내연기관 연료의 1/50 수준임.
- ❖ 리튬 이온 배터리의 한계 및 미래형 배터리(전고체 배터리 등) 개발 필요
  - 현재 전기자동차용 이차전지로서 적용되고 있는 리튬 이온 전지는 물리적 한계 (최대 에너지밀도: ~250Wh/kg)로 인하여 주행 거리의 한계를 나타냄.

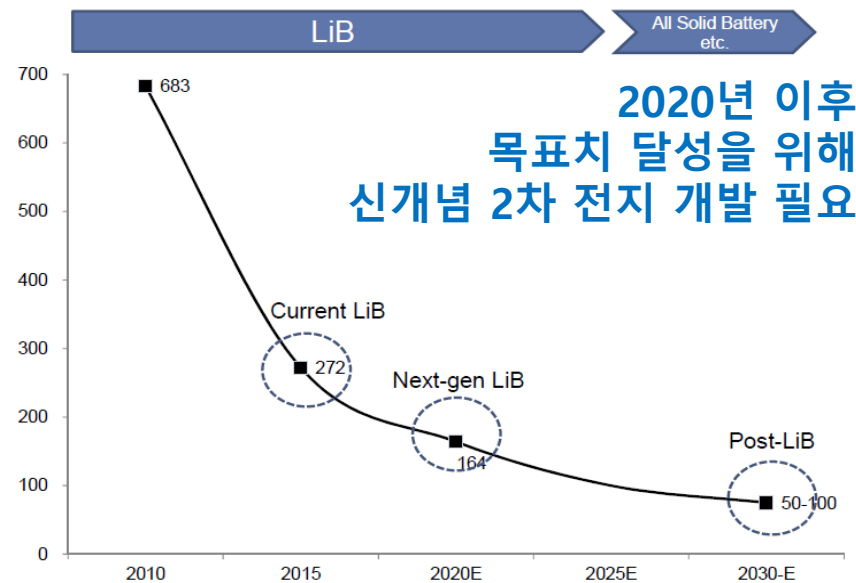


# 전기자동차의 극복 과제 – 가격

■ Tesla 2014 ● Tesla 2015 ▲ GM ▼ Auto Electrification ▲ US. Dept. of Energy ▲ MIT (Sakti et al.)  
 ◆ MIT (Industry expert interviews) ◆ Stockholm Environment Institute ◆ Umicore ★ USABC (Industry)  
 ● Johnson Matthey 2012 ■ Johnson Matthey 2015 ● Bloomberg New Energy Finance ▲ Argonne National Lab  
 ▼ LG Chemical ▲ Avicenne Energy ▲ Australian Renewable Energy Agency ◆ Advanced Automotive Batteries  
 ◆ VTT Tech. Research Centre of Finland



Source: 금융기관 A, 2016

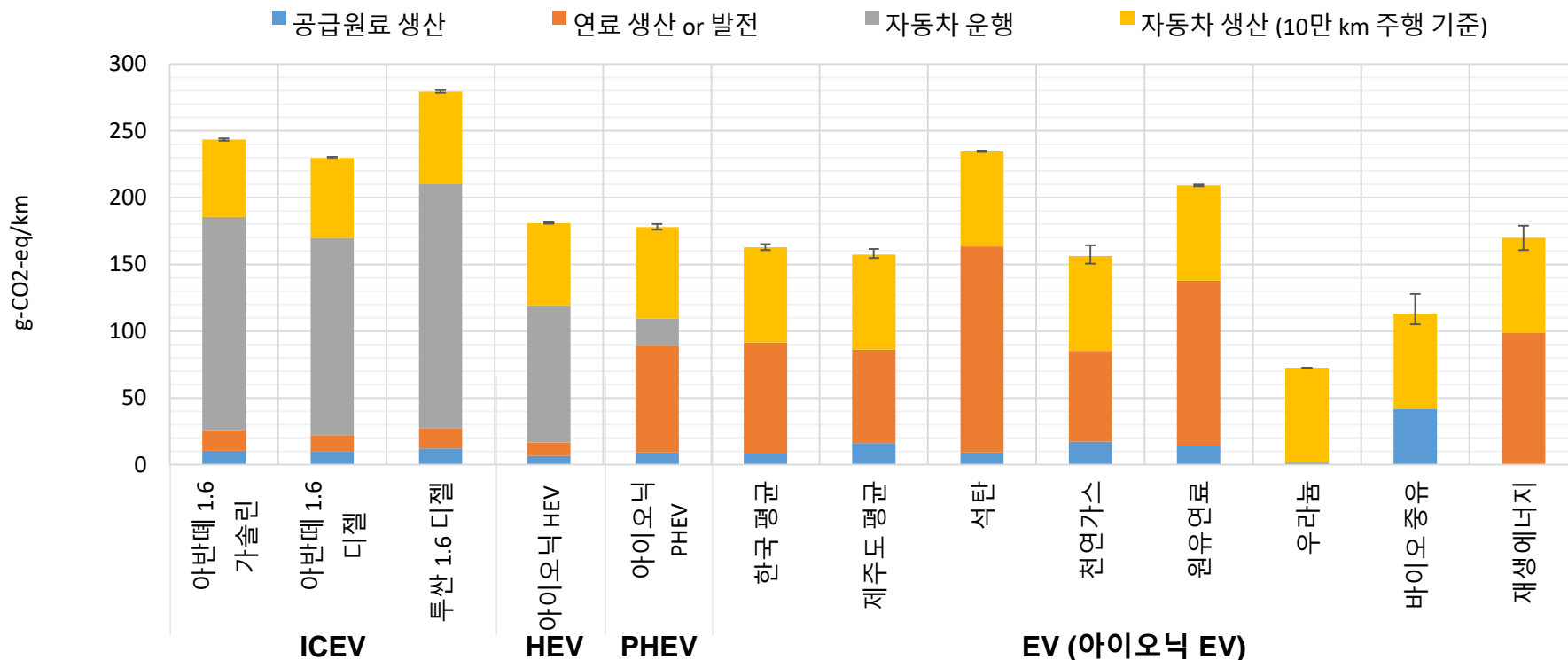


Source: 금융기관 B, 2017

- ❖ 최근 배터리 전기차 수요 증가 예측으로 배터리 팩 가격이 감소
- ❖ 배터리 팩 추가 가격 하락을 위해 미래형 배터리 개발이 불가피함.
- ❖ 중국의 신에너지 자동차 보급 확대에 의해, Li, Co 등 가격 상승 추세: 미래 불안 요인

# 전기자동차의 극복 과제 – 발전 원 공해 문제

## ❖ 발전 에너지원 구성에 따른 전기차 CO<sub>2</sub> 배출 평가

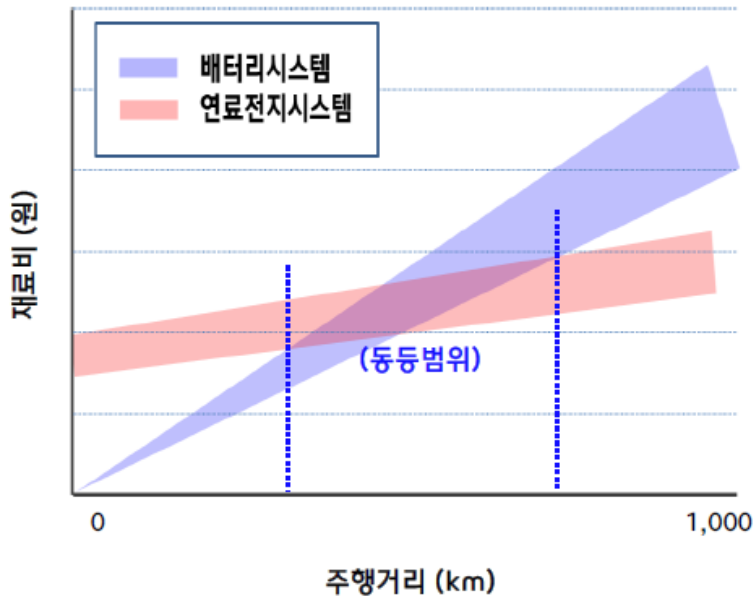


Source : 서울대학교, 송한호 교수

- ❖ 발전 에너지원 기술에 따라 전기자동차의 WTW 온실가스 배출에 큰 차이를 보임
  - ❖ 석탄발전에 의한 전기자동차 WTW 온실가스 배출은 가솔린 하이브리드 자동차보다 높음
  - ❖ 배터리 생산 과정의 온실가스 배출량이 자동차 생산 과정의 1/3 차지
- 전기자동차의 도입 계획은 발전 원의 에너지 정책과 병행하여 수립되어야 함. (고비용)

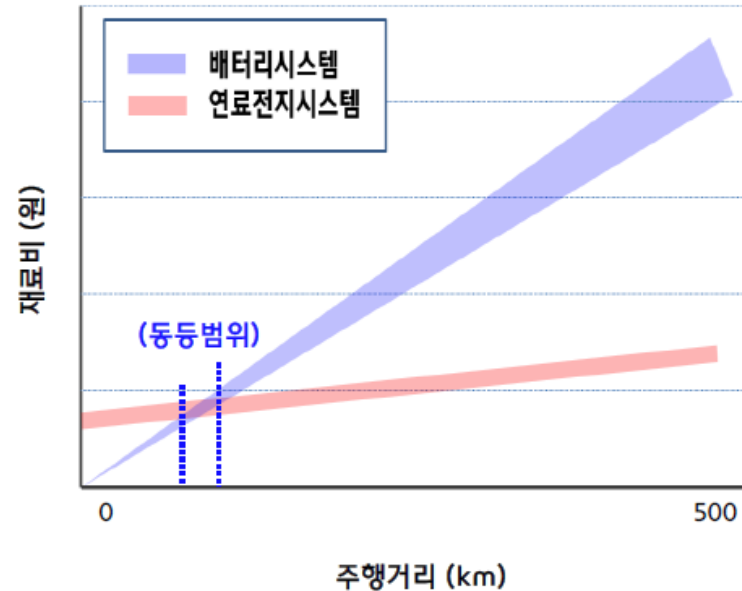
# 연료전지 극복 과제 – 연료전지 시스템 가격

## 승용



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

## 상용

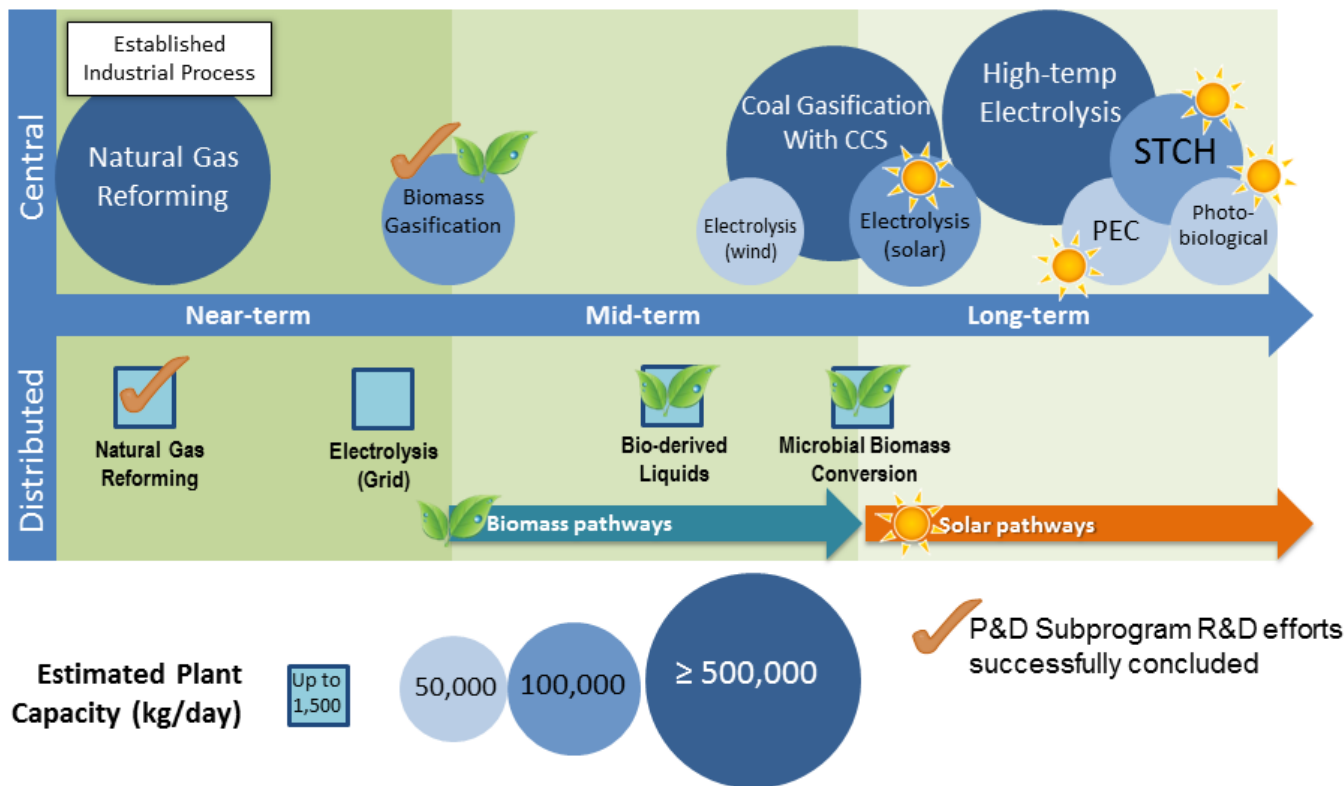


Source : 수소전기차의 미래, 현대자동차 연구개발본부, 2019

- ❖ 연료전지 시스템 부품의 가격은 연료전지 스택 & 수소 저장용기가 절반 이상임.
- ❖ 승용 부문대비 가격경쟁력이 높은 버스/트럭 중심으로 도입이 시작될 것으로 판단됨.
- ➔ 연료전지 시스템의 가격경쟁력 확보가 자동차 시장 도입의 결정적 요소임.

# 연료전지 극복 과제 - 수소 가격 및 공급 시나리오

## ❖ 미국 US DOE의 수소 생산 시나리오



Source : Fuel cell technologies office, US DOE 2019

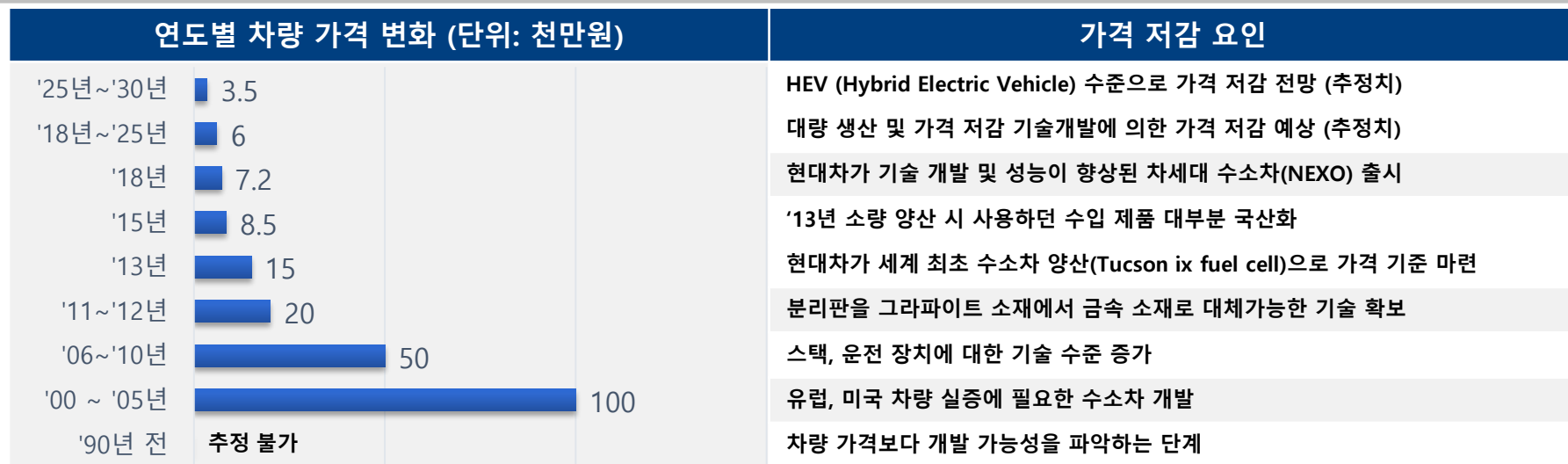
- ❖ 정부의 지원 없이 **현재 수소 가격은 사실상 기존 가솔린, 디젤의 가격과 경쟁이 불가능함.**
- ❖ 가솔린 연료대비 경쟁력을 갖기 위해서는 **수소 가격이 \$4/gge 보다 낮아져야 함.**
- 수소 연료 전지차 보급에 **수소 가격경쟁력 향상을 위한 공급 시나리오의 병행이 요구됨.**

## 연료전지 극복 과제 - 차량 가격 저감

• **현황** 현대 투싼ix(2013) : 1억 5천만원 → 넥쏘(2018) : 7천만원

\* 가격 비중(%) : 스택 (30), 수소저장장치 (20), BOP운전장치 (10), 전장장치 (10), 기타 (30)

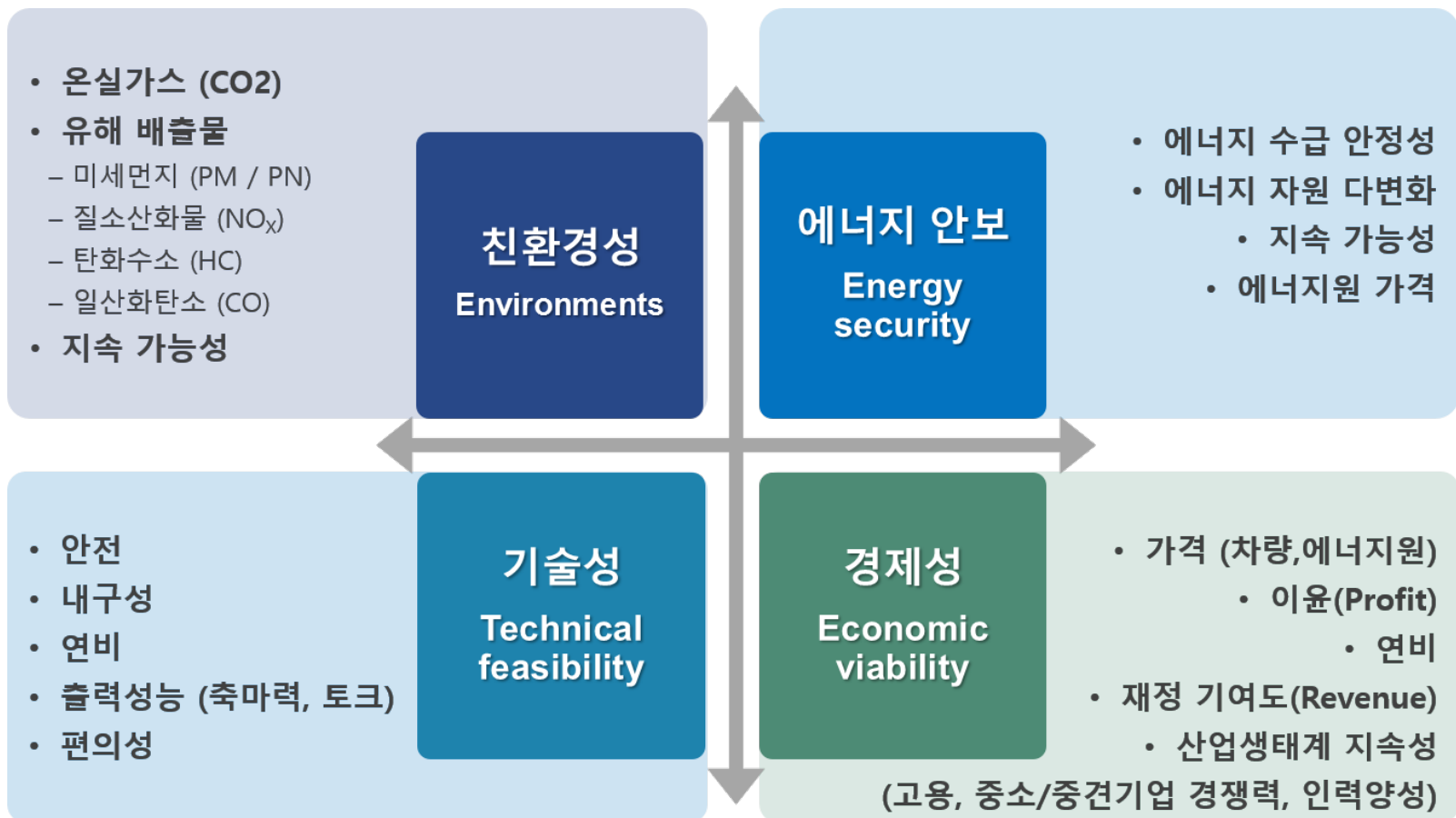
- **성능**
- | 차종              | 주행거리  | 내구성       | 수소 탱크  | 최고 출력 |
|-----------------|-------|-----------|--------|-------|
| 투싼 ix fuel cell | 594km | 5년 10만km  | 5.64kg | 100kW |
| 넥쏘              | 609km | 10년 16만km | 6.33kg | 113kW |
- **전망** 완성차간 경쟁('15~'20), 대량생산('18~'25), 기술개발('15~)에 의해 '25~'30년 HEV 가격수준 전망
- ① (완성차간 경쟁) 수소전기자동차 출시될 때마다 전략적으로 가격 감축
  - ② (대량생산) 年생산 1만대 수준에 도달하면 가격 50% 감축 가능
  - ③ (기술개발) 해외 종속 기술 국산화 → 가격 저감 기술 개발 (기술융합, 기능 통합 및 새로운 소재 기술 개발)



# 요약 및 결론

❖ 파워트레인 종류별 정책개발 로드 맵 작성을 위해서는 아래의 고려사항에 대한 비교 분석과 이들 사이의 연관성에 대한 종합적인 분석이 요구됨

- 사안별 중요성을 고려하고 균형 잡힌 분석을 통하여 시기에 맞는 전략수립 필요



## ❖ 자동차 기술 비교 평가와 전망

- Merit 함수 분석 결과, 현재 내연기관 및 하이브리드 자동차의 종합적인 적합성이 높음
- 배터리 전기는 낮은 에너지밀도로 인한 주행거리 부족 및 높은 가격이 극복 과제임
- 수소 연료전지는 스택 및 수소 공급 탱크 등으로 인한 높은 가격이 극복 과제임

## ❖ 자동차 기술의 건전한 발전을 위한 전략 수립

- 상시적으로 차종 별 적합성 평가와 비교분석을 통하여 각개 기술에 대한 전략 수립
- 전 주기적 분석을 위한 계측 자료 축적과 항목별 평가 정확도 제고

## ● 시의 적절하게 균형 잡힌 지원정책

- 단기전략 : 산업경쟁력 제고와 경제성, 기술성이 우월한 내연기관차, 하이브리드차 기술 개발
- 중·장기전략 : 혁신적 내연기관차, 배터리 전기차, 수소 연료전지 전기차의 돌파기술 개발 및 인프라 구축



## 전주기 분석 필요

- ❖ **주안점:** 파워트레인 기준의 자동차 종류별로 Fuel cycle (well-to-wheel) 뿐만 아니라 vehicle cycle (차체, 엔진/배터리/스택 생산) 측면도 고려한 분석 필요
- 자동차 기술별로 적합성 판정을 위한 고려사항을 판단하기 위한 자료 (에너지효율, 온실가스, 미세먼지 포함)를 장기적으로 측정/축적하고 모든 사항을 고려한 **전 주기적 분석을 장기적/상시적으로 추진**하여 합리적이고 공정한 전략 수립 기반 마련

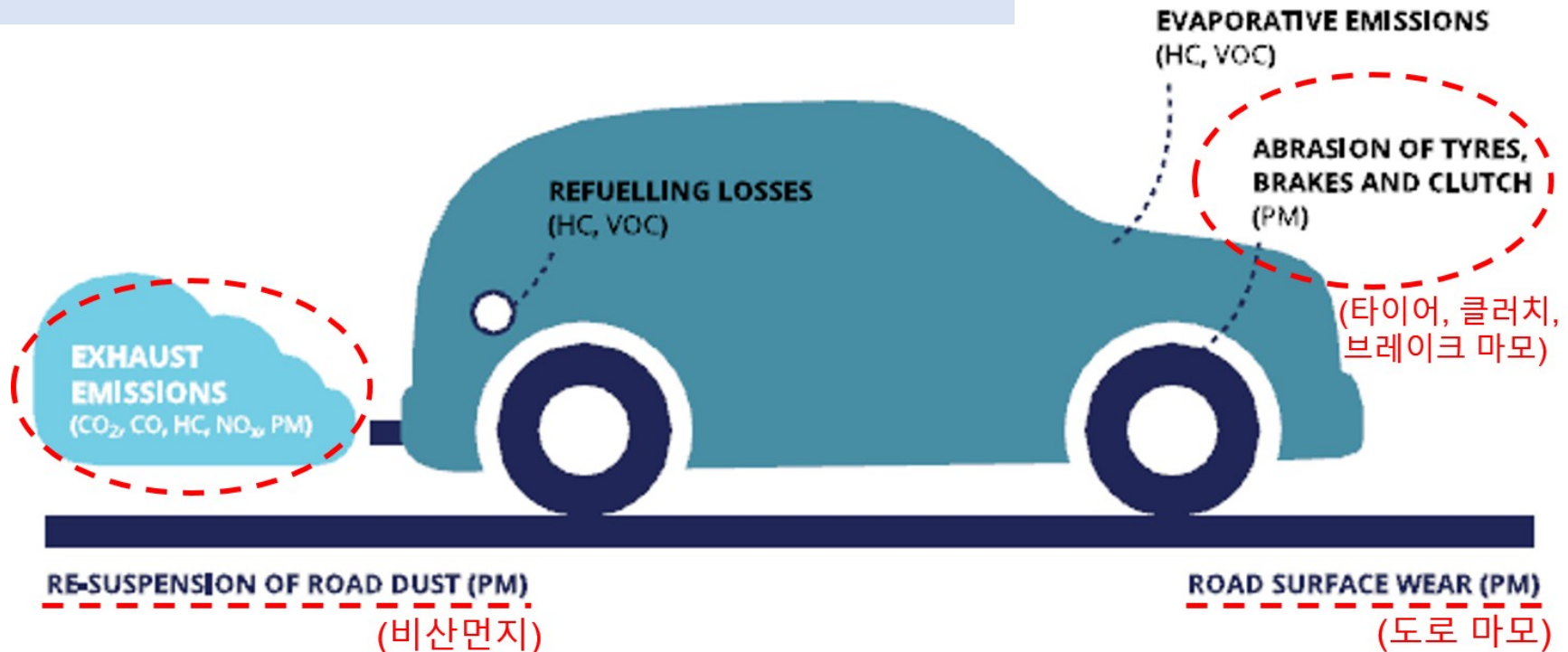
## 상시적 기술 평가 및 기획 지원

- **시기별 파워트레인 기술별 R&D 전략 수립 및 상시 개정**
  - 에너지기술 시나리오 분석과 적용을 통한 자동차 산업 생태계 지속성장 전략
  - 환경성, 기술성, 경제성, 에너지 안보의 종합적 분석을 통한 적합성 평가
    - 온실가스 (이산화탄소 중심), 규제 배기물 동시 평가 및 최적화 전략
  - 자동차 차종 별 기술 및 경제성 평가를 통한 수익모델 수립과 중장기 기술개발 전략

## Merit 함수 – 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 분석

자동차의 미세먼지(PM) 발생 기구

= Exhaust Emissions + Non-Exhaust Emissions



Source : EEA Report, 2016

❖ 최근 국내 미세먼지 관심 증가로 자동차 기술 적합성 분석에 미세먼지 배출이 중요 인자  
→ 과학적인 미세먼지 배출기구 파악을 통한 자동차 기술별 미세먼지 배출 비교

# Ultimate goal of future vehicle (I)



자동차기술 및 정책개발 Roadmap 연구

# 감사합니다

