



연료 전지 로드맵 2020

서술형 보고서

2021년 2월 | 버전 1.0

DISCLAIMER:

Translations of any materials into languages other than English are intended solely as a convenience to the non-English-reading public and are not legally binding. We have attempted to provide an accurate translation of the original material in English, but due to the nuances in translating to a foreign language, slight differences may exist. This translation is supplied to you on the understanding you have accepted this disclaimer and no liability is accepted by the APC for the use of the translation by you or any other party if the translation is found to contain inaccuracies.

면책고지

영어 이외의 언어로 번역된 모든 자료는 비영어권 일반 대중의 편의를 위한 것으로 법적 구속력이 없습니다. 당사는 영어 원문의 정확한 번역을 제공하기 위해 노력했지만 외국어로 번역할 때의 뉘앙스로 인해 약간의 차이가 있을 수 있습니다. 본 번역은 귀하가 이 면책고지를 수락했다는 조건하에 귀하에게 제공되며, 본 번역에 부정확한 내용이 포함된 것으로 밝혀질 경우에도 APC는 귀하 또는 기타 모든 당사자가 본 번역을 사용한 것에 대한 책임을 지지 않습니다.



개요: 연료 전지

틈새 시장에서 주류로

- 지난 5년 동안 전 세계적으로 15,000대의 연료 전지 전기차(FCEV)가 판매되었으며 그중 7,500대는 2019년에 판매되었습니다. 매출은 아시아 브랜드인 현대 넥소, 토요타 미라이, 혼다 클라리티가 주도했습니다. 중국과 일본의 FCEV 판매량은 2030년까지 각각 연간 100만대와 80만대에 이를 것으로 예상됩니다.
- 운송의 탈탄소화를 추진하고 있기 때문에, FCEV는 배터리 전기차(BEV)에 대한 대안을 제공하고 특정 사용 사례에 대해 동급 최강의 내연 기관(ICE)과 경쟁하는 시스템 효율을 제공합니다.
- 자동차 애플리케이션에서 일반적으로 사용되는 두 가지 주요 연료 전지 기술은 양성자 교환막 연료 전지(PEMFC)와 고체 산화물 연료 전지(SOFC)입니다.



연료 전지 분야의 국제적 활동 증가

- 메르세데스(Mercedes) 및 BMW와 같은 유럽 OEM은 F-Cell 및 Hydrogen7과 같은 제품 시험에 이어 포트폴리오 내에서 연료 전지 기술을 개발하는데 새롭게 관심을 보였습니다. BMW는 작년 프랑크푸르트 모터쇼에서 i Hydrogen NEXT 컨셉트 카를 공개했습니다. 승용차 이외에, 대형화물 운송 부문에서는 장거리 주행을 위해 배터리 무게 증가를 완화하는 FCEV 기술을 개발하는 프로젝트를 진행하고 있습니다. 2020년 4월에 현대 XCIENT 연료 전지 트럭과 볼보 트럭과 다임러(Daimler)의 합작 투자 회사는 대형차용 연료 전지 시스템을 생산하고 상용화한다는 계획을 발표했습니다.
- 수소로 구동하는 PEMFC가 운송용 연료 전지 시장을 지배하고 있지만, SOFC와 같이 기존 상용 연료를 사용하고 널리 적용되는 다른 연료 전지 기술이 있습니다. 이 로드맵은 성과 지표를 제공하고 PEMFC 및 SOFC의 기술 발전을 차트로 보여줍니다.
- 현재의 높은 구매 가격(중형 승용차의 경우 \$60,000– \$80,000), 열악한 연료 보충 인프라(가장 일반적인 연료인 수소는 충전소 부족) 및 다른 파워트레인과 경쟁하기 위해 시스템 효율을 높여야 하는 필요성 등은 주요 해결 과제 중 일부입니다. 이 유망한 기술의 핵심 목표는 비용, 효율 및 내구성 이점의 조합을 제공하는 것입니다.

서문 및 감사의 말



네빌 잭슨(Neville Jackson)

소속 기관:
영국자동차협회(UK Automotive Council)

APC는 이 로드맵을 개발하고 발표하는 데 업계와 학계가 광범위한 지원을 제공한 것에 대해 감사를 드리고자 합니다.

제품 및 기술 로드맵의 갱신을 의뢰하고 지속적인 지원을 제공해주신 영국자동차협회에 감사드립니다.

이 작업은 BEIS(기업, 에너지 및 산업 전략부)로부터 상당한 지원을 받았습니다.

첨단 추진 기관 센터(Advanced Propulsion Centre)가 업계와 긴밀히 협력하여 개발한 2020년 자동차 추진 기술 로드맵을 공유하게 되어 기쁩니다. 이러한 로드맵은 중요한 미래 목표를 정의하고, 미래에 탈탄소화되고 지속 가능성이 향상된 차량 사용을 달성하기 위한 가장 유망한 대안을 정의합니다. 이러한 로드맵은 특히 협업 혁신과 관련된 집중적 R&D 과제를 개발하는 데 필수적인 도구입니다.

로드맵은 영국자동차협회(UK Automotive Council)의 로드맵 원안에 기반해 있고 2017년 APC에 의해 더욱 발전되었습니다. 이들은 영국의 2050년 넷제로(net-zero) 달성 목표로 전환하는 것의 시급함을 반영하기 위해서 갱신되어 왔습니다. 추진 기술의 변화 속도는 최근 몇 년 동안 더욱 빨라졌습니다. 전기차가 늘어나고 배터리 가격이 이전에 예상했던 것보다 더 빨리 하락했으며, 연료 전지와 같은 대체 배출제로 기술이 상당한 속도로 성숙하고 있어 수소를 포함한 연소용 청정 연료가 기존 화석 연료를 대체하기 위해 등장하고 있습니다.

그러나 변화 속도가 더 빨라져야 하므로 극복해야 할 문제가 상당히 많아, 더 집약적인 R&D가 필요하고 소비자에게 훨씬 더 매력적인 적절한 가격의 제품을 출시하는 상업화가 필요합니다. 2020년 기술 로드맵은 업계 전문가 설문조사 및 패널이 개발했으며 미래의 자동차 추진 목표, 기술 및 시간 척도에 대한 압축된 견해를 제공합니다.

이 보고서의 목표는 세계적 수준의 솔루션을 가속화하고 제공하기 위해 통찰력에 기반하고 공통 기술에 초점을 맞춰 자동차 부문을 지원하는 것입니다. 로드맵은 미래의 이동성 문제, 상품 운송 및 비포장도로용 차량의 연구 및 개발에 대응하기 위한 협업적 R&D 기회를 구축하는 데 중요한 정보 출처입니다.

롭 모건 교수(Prof Rob Morgan)

브라이튼 대학교(University of Brighton)

이 로드맵은 연료 전지 분야의 방대한 국제 연구를 집약하여 도로 운송 부문에서 연료 전지 기술을 대량으로 적용하는 것과 관련한 해결 과제 및 기회를 간결하게 요약합니다. 이 로드맵은 운송 부문의 다양한 세그먼트와 대체 기술의 제품 요구사항을 동시에 살펴보는 더 광범위한 프로젝트의 일부로 개발되었습니다. 이러한 폭넓은 관점을 통해서 필수 원가, 내구성 및 성능 목표와 넷제로 운송 부문을 실현하는 데 다양한 기술과 함께 연료 전지가 수행하는 필수적인 역할을 새로운 시각으로 볼 수 있습니다.

댄 브렛 교수(Prof Dan Brett)

기간이 정해진 목표를 설정하는 것은 진행 상황을 벤치마킹하여 기술을 발전시키고 시장 준비 상태를 판단하는 데 필수적입니다. 이는 상용화 과정의 중요한 단계에 있는 연료 전지와 같은 신흥 기술에 특히 중요합니다. APC의 접근 방식은 주요 국제 로드맵의 관점을 바탕으로 시장 침투율을 예측하고 연료 전지 기술과 원가 진행률에 대한 조화된 관점을 제시합니다. 이러한 목표를 달성하는 데 필요한 중요한 기술 발전이 이러한 경로에 중첩되어 있습니다.

나이젤 브랜든 교수(Prof Nigel Brandon)

런던 왕립 과학기술대학교

(Imperial College of Science and Technology London)

운송 부문을 포함한 많은 부문에서 탈탄소화를 지원하는 데 연료 전지 기술이 수행할 중요한 역할에 대한 인식이 높아지고 있습니다. 이 로드맵은 연료 전지 원가를 지속적으로 낮추고 성능을 개선하는 데 필요한 연구와 혁신을 최우선으로 하여 경량 및 대형 연료 전지 차량의 사용을 늘릴 수 있도록 하는 데 도움이 됩니다.

경량 차량 및 대형 차량 애플리케이션용 기술 지표

대량 시장의 경쟁 환경에서 산업이 달성할 가능성이 있는 기술 지표. 모든 원가 및 성능 지표는 그 규모가 매우 크지만 동일한 기술과 관련되어 있습니다.



		2020	2025	2035
경량 차량	\$/kW(시스템)	112	68	40
	\$/kW(스택)	70	40	20
	시스템 효율 ¹ (%)	60	65	70
	스택 내구성(시간)	5,000	6,000	8,000



		2020	2025	2035
대형 차량	\$/kW(시스템)	455	195	80
	\$/kW(스택)	285	115	40
	시스템 효율*(%)	60	65	70
	스택 내구성(시간)	15,000	22,000	30,000

		2020	2025	2035
수소 저장 탱크 ²	온보드 수소 저장 원가(H2의 \$/kg)	470	365	200

참고:

- 모든 지표는 미국 에너지부(DoE) 자료, 연료 전지 및 수소공동사업기구(FCH JU) 자료, 중국 및 일본의 전략위원회 로드맵과 같은 공개된 데이터에서 도출한 평균 데이터 및 용적 보정 수치에 기반해 있습니다.
- 시스템 효율 값은 PEM 및 SOFC에 대한 특정 정격 부하 값에 기반해 있습니다. 이 값은 연료 효율 목표를 나타내지 않으며 그런 식으로 비교할 수 없습니다.
- 단일 지점 효율 값이 표시되지만 이는 추진 기술 및 제품 애플리케이션에 따라 달라지는 실제 차량 효율의 정확한 지표가 아닙니다.

지표는 다음과 같은 전 세계적 FCEV 생산량에 기반해 있습니다.


2020	2025	2030	2035
15,000	50,000	750,000	> 3,000,000

1. PEM @ 25% 정격 부하; SOFC @ 80% 정격 부하 2. PEM 고유 기술

기술 지표는 원가 및 성능의 모든 분야에서 동일한 기술을 가리킵니다.

경량 차량 및 대형 차량 애플리케이션용 기술 지표


대량 시장의 경쟁 환경에서 산업이 달성할 가능성이 있는 기술 지표. 모든 원가 및 성능 지표는 그 규모가 매우 크지만 동일한 기술과 관련되어 있습니다.



	2020	2025	2035	
경량 차량	\$/kW(시스템)	112	68	40
	\$/kW(스택)	70	40	20
	시스템 효율 ¹ (%)	60	65	70
	스택 내구성(시간)	5,000	6,000	8,000

	2020	2025	2035
수소 저장 탱크 ²	470	365	200

온보드 수소 저장 원가(H2의 \$/kg)



	2020	2025	2035	
대형 차량	\$/kW(시스템)	455	195	80
	\$/kW(스택)	285	115	40
	시스템 효율*(%)	60	65	70
	스택 내구성(시간)	15,000	22,000	30,000

- 참고:**
- 모든 지표는 미국 에너지부(DoE) 자료, 연료 전지 및 수소공동사업기구(FCH JU) 자료, 중국 및 일본의 전략위원회 로드맵과 같은 공개된 데이터에서 도출한 평균 데이터 및 용적 보정 수치에 기반해 있습니다.
 - 시스템 효율 값은 PEM 및 SOFC에 대한 특정 정격 부하 값에 기반해 있습니다. 이 값은 연료 효율 목표를 나타내지 않으며 그런 식으로 비교할 수 없습니다.
 - 단일 지점 효율 값이 표시되지만 이는 추진 기술 및 제품 애플리케이션에 따라 달라지는 실제 차량 효율의 정확한 지표가 아닙니다.

지표는 다음과 같은 전 세계적 FCEV 생산량에 기반해 있습니다.

2020	2025	2030	2035
15,000	50,000	750,000	> 3,000,000

1. PEM @ 25% 정격 부하; SOFC @ 80% 정격 부하 2. PEM 고유 기술

원가 및 성능 지표

원가, 시스템 효율 및 내구성은 연료 전지를 대량 시장에서 채택하기 위한 주요 지표로 선택되었습니다.



	2020	2025	2035
1 \$/kW(시스템)	112	68	40
2 \$/kW(스택)	70	40	20
3 시스템 효율 ¹ (%)	60	65	70
4 스택 내구성(시간)	5,000	6,000	8,000

1 시스템 원가
이것은 스택, 보조 장치 및 주변 장치(balance-of-system: BOS)를 포함하는 전체 연료 전지 시스템에 대한 원가이지만 연료 저장 및 전달 시스템은 제외됩니다.
시장 채택을 촉진하려면 상당한 원가 절감이 필요합니다.

2 스택 원가
스택 원가가 시스템 원가에 직접적으로 반영되지 않기 때문에 스택 원가는 별도로 제공되었습니다. 스택은 전기 변환 장치의 주요 화학물질입니다. 연료 전지에 대한 관심이 증가하고 있어 대폭적인 원가 절감이 필요합니다.

3 시스템 효율
연료 전지는 높은 시스템 효율을 제공할 수 있지만 이것을 연비 기준으로 간주해서는 안 됩니다. 실제 주행 사이클과 드라이버라인 효율이 전체 성능에 영향을 미칠 것입니다. 여기에서 제시한 값은 정격 부하입니다(최대 출력 용량에 대한 일반적인 토크 요구량). 이것은 PEM @25% 및 SOFC @80% 정격 부하입니다.

4 스택 내구성
연료 전지가 신뢰할 수 있게 작동할 수 있고 오버홀을 위한 정비 마모 한계를 초과하지 않을 수 있는 시간의 추정치를 제공합니다. 이는 종종 TBO(Time Between Overhaul: 오버홀 주기)라고 하는 엔진에 대한 일반적인 측정 지표입니다.

미국 에너지부

EU 연료 전지 및 수소 JU

중국

일본

지표값 설정
연료 전지는 차량 벤치 마크 데이터가 제한적인데도 빠르게 성숙하는 기술입니다. 우리의 접근 방식은 미국 에너지부(DOE)가 수행한 광범위한 작업, EU 연료 전지 및 수소공동사업기구(FCH JU) 그리고 여기에 제시된 중국과 일본의 전략위원회 로드맵에서 제공한 핵심 성과 지표를 사용합니다.

보고서마다 연료 전지 수요 또는 생산에 대한 가정이 다릅니다. 아래에 나와 있는 이 보고서의 값을 도출하기 위해 용적 조정 방식을 사용했습니다.

지표는 다음과 같은 전 세계적 FCEV 생산량에 기반해 있습니다.

2020	2025	2030	2035
15,000	50,000	750,000	> 3,000,000

1 시스템 원가
대형 차량의 시스템과 설계는 경량 차량과 매우 다릅니다. 듀티 사이클, 사용 사례 및 주변 장치가 고유합니다. 대량 시장에서 채택하려면 상당한 원가 절감이 필요합니다.

2 스택 원가
듀티 사이클과 전력 수요는 대형 차량을 위한 고유한 연료 전지 설계를 필요로 합니다. 결과적으로, 지표는 경량 차량보다 높지만 화물 운송용 연료 전지에 대한 관심이 증가함에 따라 유사한 방법으로 원가 절감이 이루어질 것으로 예상됩니다.

3 시스템 효율
연료 전지는 높은 시스템 효율을 제공할 수 있지만 이것을 연비 기준으로 간주해서는 안 됩니다. 실제 주행 사이클과 드라이브라인 효율이 전체 성능에 영향을 미칠 것입니다. 여기에서 제시한 값은 정격 부하입니다(최대 출력 용량에 대한 일반적인 토크 요구량). 이것은 PEM @25% 및 SOFC @80% 정격 부하입니다.

4 스택 내구성
연료 전지가 신뢰할 수 있게 작동할 수 있고 오버홀을 위한 정비 마모 한계를 초과하지 않을 수 있는 시간의 추정치를 제공합니다. 이 값은 LD 차량보다 높습니다. 차량이 더 높은 활용률로 운행되고 TCO 경쟁력이 있어야 하기 때문입니다.



	2020	2025	2035
1 \$/kW(시스템)	455	195	80
2 \$/kW(스택)	285	115	40
3 시스템 효율*(%)	60	65	70
4 스택 내구성(시간)	15,000	22,000	30,000

미국 에너지부

DOE Advanced Truck Technologies
Subsection of the Electrical Powertrain Roadmap
Technical Targets for Hydrogen Fuelled Long Haul Tractor Trailer Trucks
REVISED

EU 연료 전지 및 수소 JU

FUEL CELLS AND HYDROGEN
JOINT UNDERTAKING

STATE-OF-THE-ART AND FUTURE TARGETS (KPIs)
as derived from the Multi Annual Work Plan
Fuel cell and hydrogen - Transport Applications
Fuel cell light duty vehicles (excluding cars)

Year	Metric	2020		2025		2030	
		Target	Current	Target	Current	Target	Current
2020	FCV (passenger)	100	0	100	0	100	0
	FCV (commercial)	100	0	100	0	100	0
2025	FCV (passenger)	100	0	100	0	100	0
	FCV (commercial)	100	0	100	0	100	0
2030	FCV (passenger)	100	0	100	0	100	0
	FCV (commercial)	100	0	100	0	100	0

중국

Hydrogen Fuel Cell Vehicle
Technology Roadmap

일본

The Strategic Road Map
for Hydrogen and Fuel Cells
- Industry-academia-government action plan
to realize a "Hydrogen Society" -

March 12, 2019
Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council

지표값 설정
연료 전지는 차량 벤치 마크 데이터가 제한적인데도 빠르게 성숙하는 기술입니다. 우리의 접근 방식은 미국 에너지부(DoE)가 수행한 광범위한 작업, EU 연료 전지 및 수소공동사업기구(FCH JU) 그리고 여기에 제시된 중국과 일본의 전략위원회 로드맵에서 제공한 핵심 성과 지표를 사용합니다.

보고서마다 연료 전지 수요 또는 생산에 대한 가정이 다릅니다. 아래에 나와 있는 이 보고서의 값을 도출하기 위해 용적 조정 방식을 사용했습니다.

지표는 다음과 같은 전 세계적 FCEV 생산량에 기반해 있습니다.

2020	2025	2030	2035
15,000	50,000	750,000	> 3,000,000

경량 차량 및 대형 차량 애플리케이션용 기술 지표

대량 시장의 경쟁 환경에서 산업이 달성할 가능성이 있는 기술 지표. 모든 원가 및 성능 지표는 그 규모가 매우 크지만 동일한 기술과 관련되어 있습니다.



		2020	2025	2035
경량 차량	\$/kW(시스템)	112	68	40
	\$/kW(스택)	70	40	20
	시스템 효율 ¹ (%)	60	65	70
	스택 내구성(시간)	5,000	6,000	8,000



		2020	2025	2035
대형 차량	\$/kW(시스템)	455	195	80
	\$/kW(스택)	285	115	40
	시스템 효율 ² (%)	60	65	70
	스택 내구성(시간)	15,000	22,000	30,000

		2020	2025	2035
수소 저장 탱크 ²	온보드 수소 저장 원가(H ₂ 의 \$/kg)	470	365	200

수소 저장 탱크

이것은 PEM 연료 전지에 대한 별도의 기술 지표입니다. 수소는 체적 에너지 밀도가 매우 낮아 저장하기가 어렵습니다. 350bar(5,000psi) 및 700bar(10,000psi)의 압축 수소는 자동차 수소 탱크에서 사용되지만 CFRP와 같은 매우 고강도 재료와 가압 탱크에 대한 상당한 보강이 필요합니다. 이로 인해 중량 및 원가 증가 문제가 발생합니다.

온보드 수소 저장 원가

수소 저장 원가는 전체 PEM 연료 전지 시스템의 중요한 부분입니다. 제공된 값은 주로 미국 DoE US-Drive 및 EU FCH JU에서 발표한 자료에서 가져온 것입니다.

흡수 시스템, 금속 수소화물 및 화학물질 재생 시스템과 같은 다양한 저장 기술이 벤치마크 보고서에서 고려되었습니다.

저장 시스템의 원가는 필요한 수소 kg당 \$로 제공됩니다.

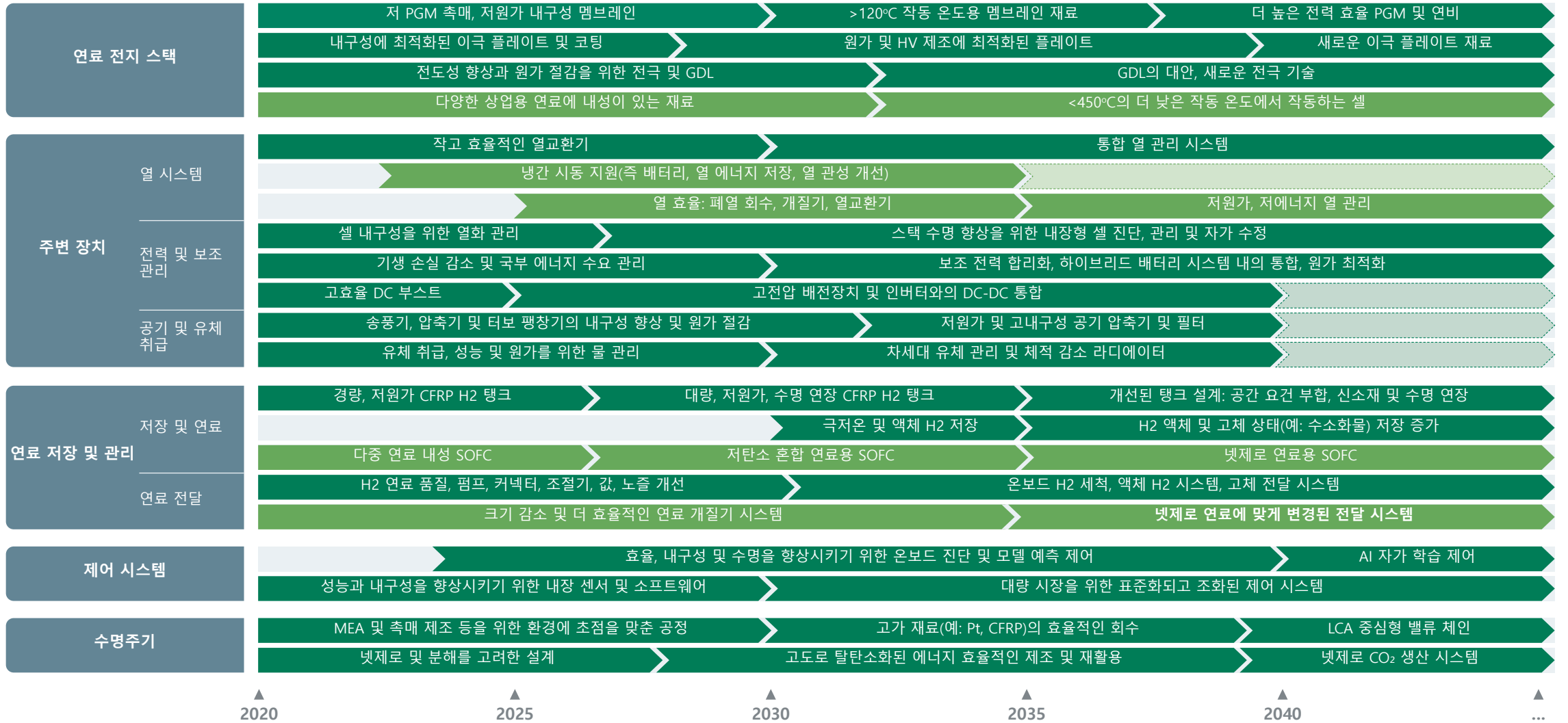
수소 가격(연료 공급)

수소 가격(kg 당)은 공급 및 인프라 개발에 따라 계속 진화하고 변화합니다. 이는 시장 공급-수요 및 현지 당국 인센티브에 따라 변화하기 때문에 로드맵 지표 목록에 포함되지 않습니다.

현재 추정치(2020년)에 따르면 평균 가격은 \$14/kg입니다 (캘리포니아는 \$16/kg). 이는 침투율과 관심이 증가함에 따라 2035년까지 \$4-6/kg으로 급격히 떨어질 것으로 예상되며, EU의 일부 추정치는 2035년까지 H₂ 가격이 \$3/kg까지 떨어질 수 있을 것이라고 제시합니다.

이 로드맵은 대량 시장에 채택될 것으로 예상되는 글로벌 자동차 산업 추진 기술을 시간순으로 요약한 것입니다. 특정 애플리케이션 맞춤형 기술은 지역마다 다를 것입니다.

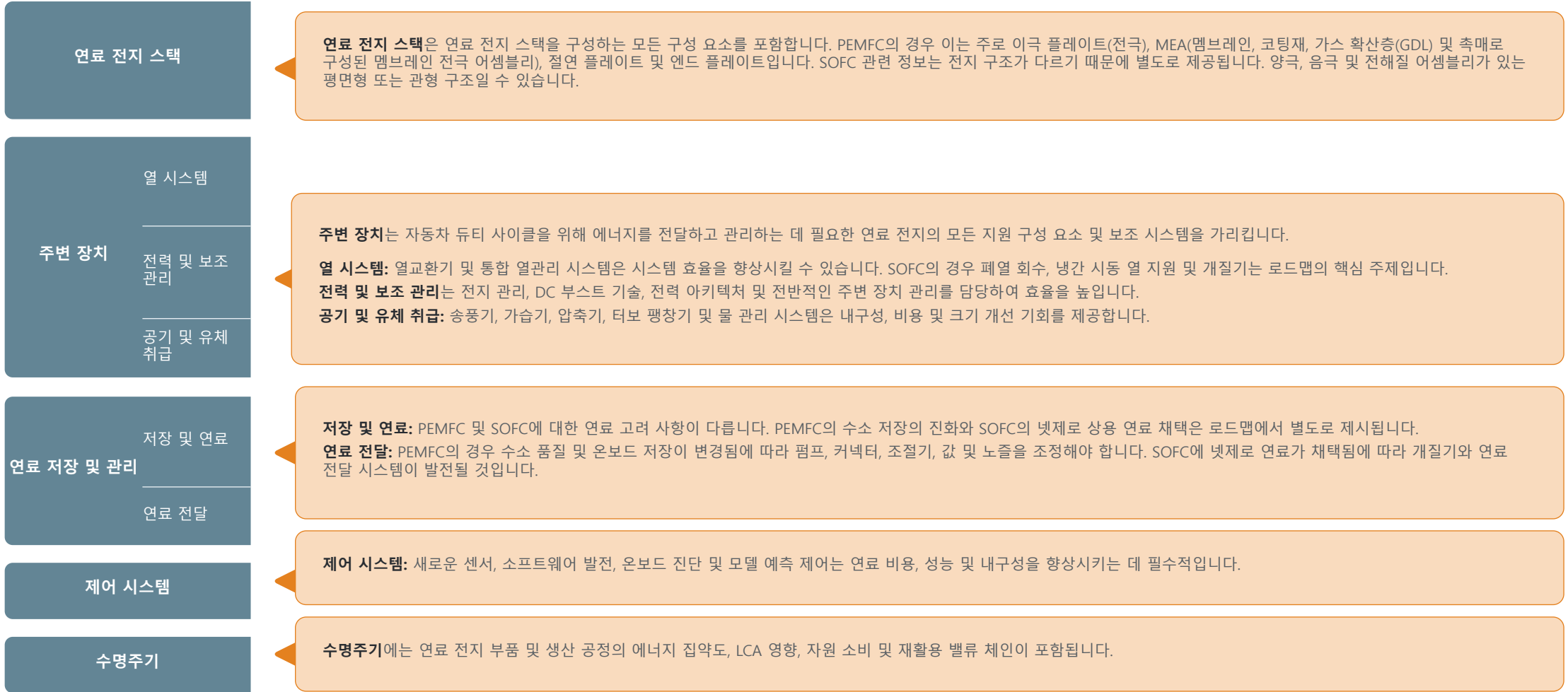
- 밝은 막대:** 대량 시장 애플리케이션을 위한 SOFC 고유 기술
- 진한 막대:** 공통 또는 PEM - 기술이 대량 시장에 적용되어 있습니다. 이 기간 동안 상당한 혁신이 예상됩니다.
- 전환:** 전환은 시장에서 단계적으로 퇴출되는 것을 뜻하는 것이 아니라 R&D 강조점의 변화를 뜻합니다.
- 점선 막대:** 시장 성숙 - 기술이 성숙 단계에 도달했습니다. 대체되는 분야에서 점차 사라질 때까지 대중 시장에 남아 있을 가능성이 있습니다.



기본적 기술 테마

로드맵 2020
연료 전지

기술 로드맵



연료 전지 스택

연료 전지 스택은 연료 전지 스택을 구성하는 모든 구성 요소를 포함합니다. PEMFC의 경우 이는 주로 이극 플레이트(전극), MEA(멤브레인, 코팅재, 가스 확산층(GDL) 및 촉매로 구성된 멤브레인 전극 어셈블리), 절연 플레이트 및 엔드 플레이트입니다. SOFC 관련 정보는 전지 구조가 다르기 때문에 별도로 제공됩니다. 양극, 음극 및 전해질 어셈블리가 있는 평면형 또는 관형 구조일 수 있습니다.

열 시스템

주변 장치

전력 및 보조 관리

공기 및 유체 취급

주변 장치는 자동차 듀티 사이클을 위해 에너지를 전달하고 관리하는 데 필요한 연료 전지의 모든 지원 구성 요소 및 보조 시스템을 가리킵니다.

열 시스템: 열교환기 및 통합 열관리 시스템은 시스템 효율을 향상시킬 수 있습니다. SOFC의 경우 폐열 회수, 냉간 시동 열 지원 및 개질기는 로드맵의 핵심 주제입니다.

전력 및 보조 관리는 전지 관리, DC 부스트 기술, 전력 아키텍처 및 전반적인 주변 장치 관리를 담당하여 효율을 높입니다.

공기 및 유체 취급: 송풍기, 가습기, 압축기, 터보 팽창기 및 물 관리 시스템은 내구성, 비용 및 크기 개선 기회를 제공합니다.

연료 저장 및 관리

저장 및 연료

연료 전달

저장 및 연료: PEMFC 및 SOFC에 대한 연료 고려 사항이 다릅니다. PEMFC의 수소 저장의 진화와 SOFC의 넷제로 상용 연료 채택은 로드맵에서 별도로 제시됩니다.

연료 전달: PEMFC의 경우 수소 품질 및 온보드 저장이 변경됨에 따라 펌프, 커넥터, 조절기, 값 및 노즐을 조정해야 합니다. SOFC에 넷제로 연료가 채택됨에 따라 개질기와 연료 전달 시스템이 발전될 것입니다.

제어 시스템

제어 시스템: 새로운 센서, 소프트웨어 발전, 온보드 진단 및 모델 예측 제어는 연료 비용, 성능 및 내구성을 향상시키는 데 필수적입니다.

수명주기

수명주기에는 연료 전지 부품 및 생산 공정의 에너지 집약도, LCA 영향, 자원 소비 및 재활용 밸류 체인이 포함됩니다.

2020

2025

2030

2035

2040

연료 전지 스택

스택의 모든 부분에서 재료 개발은 연료 전지의 원가, 효율 및 내구성 향상에 중요합니다.

로드맵 2020
연료 전지

기술 로드맵



열 시스템

주변 장치

전력 및 보조 관리

공기 및 유체 취급

저장 및 연료

연료 저장 및 관리

연료 전달

제어 시스템

수명주기

1 백금족 금속 및 멤브레인 재료

MEA 성능을 높이는 데 사용되는 PEMFC에서 PGM을 사용하면 원가가 높아집니다. 원가 절감이 목표이기 때문에 사용량이 시스템당 ~30g에서 6-9g으로 대폭 감소할 가능성이 있습니다.

일반적으로 60-80°C에서 작동하는 PEMFC의 경우 에너지 변환 효율을 높이기 위해 작동 온도가 >120°C로 상승할 수 있을 것입니다.

저가의 고성능 PGM 또는 PGM 비포함 음극은 제조, 이노노머 통합 및 음극의 전달 손실과 관련된 문제를 극복하여 전지 원가를 변화시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있습니다.

2 이극 플레이트 및 코팅

이극 플레이트는 연료 가스와 공기를 균일하게 분배하고, 전지에서 전지로 전류를 전도하고, 활성 부위에서 열을 제거하고, 가스 및 냉각수의 누출을 방지하는 핵심 구성 요소입니다.

이극 플레이트는 전지 전체에 걸친 열 전달을 향상시키기 위해 전기 전도성, 내화학성 및 열전도성이 있어야 합니다.

원가를 절감하고 내구성을 최적화하기 위해 재료, 코팅 및 대량 제조 기술을 추가로 발전시켜야 합니다.

3 전극 및 가스 확산층 혁신

MEA의 일부인 GDL은 일반적으로 고밀도로 배열된 탄소 섬유로 구성된 다공성 재료로, 집전용 전기 전도성 경로를 제공합니다. 또한 반응물 수송, 열/물 제거, 기계적 지원 및 부식 방지 기능을 수행합니다.

준비 온도가 낮고 에너지 소비가 적고 새롭고 유연하며 두께가 적은 저비용 고성능 GDL을 만들기 위한 개발이 진행 중입니다.

4 SOFC용 전지 재료

음극과 양극은 일반적으로 다공성 세라믹 재료로 만들어 전해질은 밀도가 높은 산소 이온 전도성 세라믹으로 구성됩니다. 이를 탈탄소화를 위한 다양한 혼합된 넷제로 연료에 적용하려면 연료 및 전지 기술의 최적화가 필요합니다. 성능 및 내구성 이점을 제공하는 대체 저가형 전극 재료가 핵심입니다.

장기적으로 SOFC를 현재 온도(600°C)보다 낮은 온도에서 작동하면, 에너지 수요를 줄이고 따라서 연료 전지를 작동하기 위한 에너지 비용을 줄일 수 있습니다. 새로 개발되는 나노 스케일 전해질 구조는 작동 온도를 약 350°C까지 낮추는 것으로 나타났습니다.

▲ 2020

▲ 2025

▲ 2030

▲ 2035

▲ 2040

주변 장치

전체 열 효율을 높은 정확한 작동 온도에 도달하고 이를 유지하려면 연료 전지의 열 시스템의 모든 측면을 개선해야 합니다.

로드맵 2020
연료 전지

기술 로드맵

연료 전지 스택

주변 장치는 일반적으로 '주변 보조장치(Balance-of-Plant: BOP)'라고도 하며 연료 처리 또는 개질, 열 관리, 공기 처리, 물 관리 및 전력 조절을 수행합니다. 전체 연료 전지가 작동하고 지속적인 전력을 공급하기 위해서 필요합니다.

열 시스템



주변 장치

전력 및 보조 관리

공기 및 유체 취급

1 열 관리 개선

연료 전지를 올바른 온도로 유지하는 것이 중요합니다. 연료 전지 유형에 따라 최적의 온도는 PEMFC용 80°C에서 특정 고온 SOFC용 1000°C 사이일 수 있습니다. 설계 온도 범위에서 벗어나면 효율이 저하될 수 있습니다. 온도는 열원과 열 방출 및 냉각 시스템의 조합을 통해 유지됩니다.

고급 열교환기, 냉각 경로, 재생열 열 시스템 및 콘덴서는 모두 효율적인 저비용 솔루션을 개발할 수 있는 다양한 옵션을 제공합니다.

연료 전지 열 시스템과 차량 열 시스템간 통합은 부품 시너지의 이점을 제공하지만 달성하기가 어렵습니다.

2 SOFC의 냉간 시동 지원

SOFC에 사용되는 연료는 중온에서 고온(600-1000°C) 사이에서 작동함으로써 외부 개질이나 금속 촉매 없이도 연료 전지 자체 내부에서 개질됩니다.

전지 온도를 이 온도에 도달하게 하려면 시동 시 전원 또는 열원이 있어야만 전지가 자체적으로 작동할 수 있으므로 SOFC는 종종 관련 배터리 공급 장치와 결합됩니다.

열을 제공하고 전달하는 온보드 에너지 저장 솔루션은 SOFC의 전체 시스템 효율을 향상시킵니다.

3 SOFC의 열 효율

예를 들어, 대체 열 전달 시스템 및 온보드 관리는 열교환기 및 개질기의 개선을 통해 폐열 회수 및 대체 열원(예: 차량)을 통합하여 전체 시스템의 에너지 효율 및 원가 절감을 향상시킬 수 있습니다.

현재 사용 가능한 저비용 및 저온(500-600°C) SOFC 스택은 현재의 산업 표준 세라믹 대신 CGO(세륨 가돌리늄 산화물)를 사용하므로, 스테인리스 스틸을 사용하여 전극의 세라믹을 지지할 수 있습니다.

저장 및 연료
연료 저장 및 관리
연료 전달

제어 시스템

수명주기

▲ 2020

▲ 2025

▲ 2030

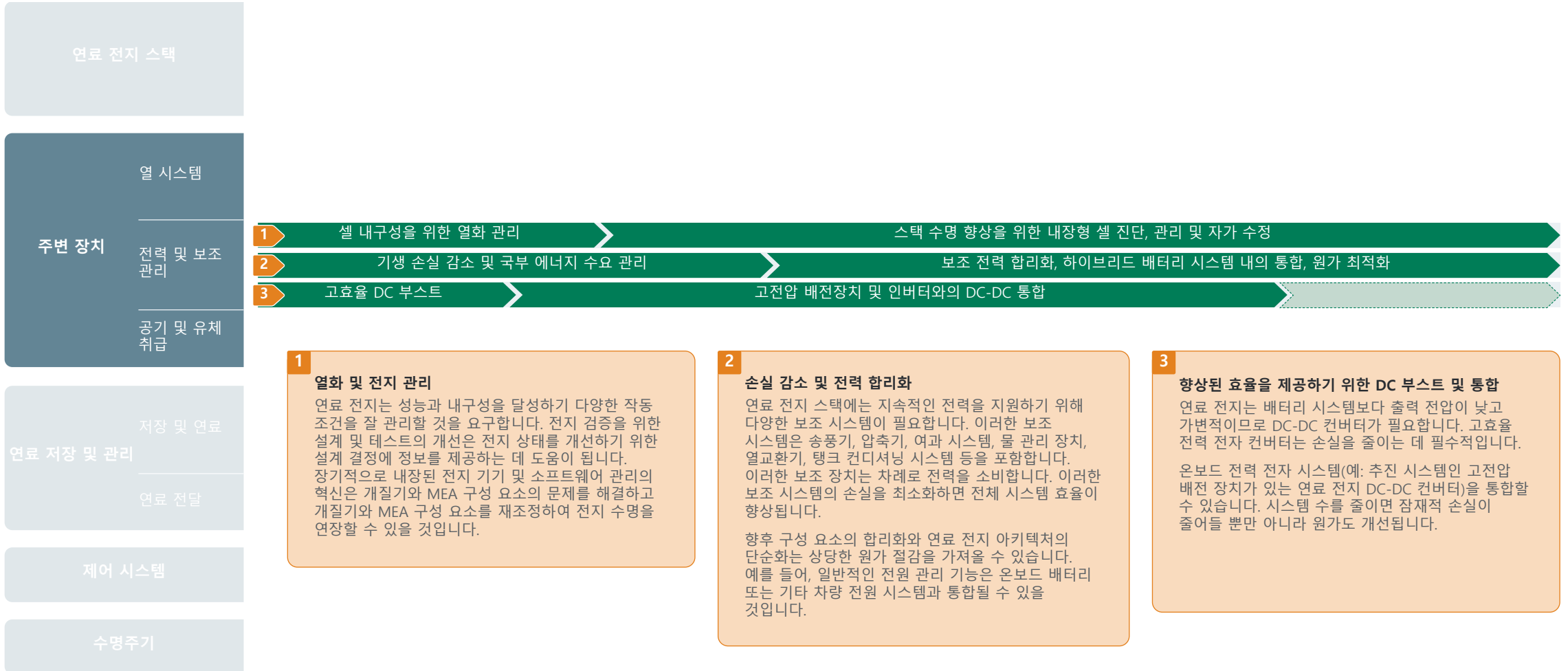
▲ 2035

▲ 2040

주변 장치

로드맵 2020
연료 전지

기술 로드맵



1 열화 및 전지 관리
연료 전지는 성능과 내구성을 달성하기 다양한 작동 조건을 잘 관리할 것을 요구합니다. 전지 검증을 위한 설계 및 테스트의 개선은 전지 상태를 개선하기 위한 설계 결정에 정보를 제공하는 데 도움이 됩니다. 장기적으로 내장된 전지 기기 및 소프트웨어 관리의 혁신은 개질기와 MEA 구성 요소의 문제를 해결하고 개질기와 MEA 구성 요소를 재조정하여 전지 수명을 연장할 수 있을 것입니다.

2 손실 감소 및 전력 합리화
연료 전지 스택에는 지속적인 전력을 지원하기 위해 다양한 보조 시스템이 필요합니다. 이러한 보조 시스템은 송풍기, 압축기, 여과 시스템, 물 관리 장치, 열교환기, 탱크 컨디셔닝 시스템 등을 포함합니다. 이러한 보조 장치는 차례로 전력을 소비합니다. 이러한 보조 시스템의 손실을 최소화하면 전체 시스템 효율이 향상됩니다.
향후 구성 요소의 합리화와 연료 전지 아키텍처의 단순화는 상당한 원가 절감을 가져올 수 있습니다. 예를 들어, 일반적인 전원 관리 기능은 온보드 배터리 또는 기타 차량 전원 시스템과 통합될 수 있을 것입니다.

3 향상된 효율을 제공하기 위한 DC 부스트 및 통합
연료 전지는 배터리 시스템보다 출력 전압이 낮고 가변적이므로 DC-DC 컨버터가 필요합니다. 고효율 전력 전자 컨버터는 손실을 줄이는 데 필수적입니다.
온보드 전력 전자 시스템(예: 추진 시스템인 고전압 배전 장치가 있는 연료 전지 DC-DC 컨버터)을 통합할 수 있습니다. 시스템 수를 줄이면 잠재적 손실이 줄어들 뿐만 아니라 원가도 개선됩니다.

2020 2025 2030 2035 2040

주변 장치

더 가볍고 작으며 신뢰성이 향상된 스택을 얻으려면 공기 처리 시스템을 위한 전용 설계와 까다로운 요구사항을 충족하기 위한 유체 처리 시스템의 개선이 필요합니다.



연료 저장 및 관리

새로운 탱크 재료와 기체 수소에 대한 액체 또는 고체 상태의 대안은 더 간단하게 전달 및 저장할 수 있을 것입니다. 표준 연료를 사용하는 SOFC의 경우, 문제는 넷제로 탄소 연료로 성공적으로 전환하는 것입니다.

로드맵 2020
연료 전지

기술 로드맵



1 수소 저장용 CFRP 탱크
PEMFC에는 특화된 수소 탱크가 필요합니다. 이러한 탱크는 고압 탱크로, 현재 350bar(5,000psi)에서 700bar(10,000psi)로 전환하고 있으며 제조 원가가 비쌉니다. CFRP는 강도가 높아 일반적으로 선택하는 재료이지만 비용이 많이 듭니다. CFRP 제조에 많은 노동력과 플랜트 에너지가 투입됩니다. 대량 공급을 위해서는 저비용 고내구성 수소 탱크가 필요합니다.
장기적으로 제조사는 새로운 탱크 재료를 사용할 기회를 갖게 되며, 기체 수소 저장을 멀리 하고 차량의 허용 공간에 적합한 모양의 탱크와 같은 혁신적이고 새로운 탱크 설계를 수용할 수 있을 것입니다.

2 액체 수소 및 고체 수소
PEM 온보드 연료 전달 시스템은 빠르면 2030년부터 초저온 액체 수소 저장을 도입할 수 있습니다. 액체는 기체 수소보다 더 나은 저장 및 전달 솔루션을 제공하지만 매우 낮은 온도에서 보관해야 합니다.
기체 수소의 또 다른 대안은 고체 수소화물입니다. 금속, 합금 또는 금속 간 화합물 형성으로 이어지는 기체 수소와 모체 수소화물 간의 가역적 반응을 통해 형성되는 금속 수소화물은 여러 최종 사용자 애플리케이션에 특히 유망합니다. 금속 수소화물을 사용하면 매우 높은 부피의 수소 밀도와 단순화된 저장이 가능합니다.

3 SOFC용 연료
SOFC는 이와 관련하여 이점이 있습니다. 표준 상용 연료를 사용하기 때문입니다. 연료 전지가 매우 높은 온도에서 작동하기 때문에, 연료는 양극 내에서 내부적으로 개질됩니다. SOFC는 현재 기존의 탱크 기술을 사용합니다.
탈탄소화가 목표이기 때문에 연료 선택의 중요성이 커질 것이며, 따라서 SOFC는 넷제로 탄소 연료로 전환하고 이에 따라 연료 전달 및 개질 시스템을 변경해야 합니다.



연료 저장 및 관리

수소이든 지속 가능한 넷제로 연료 공급원이든, 향상된 온보드 연료 전달 시스템은 전지 성능을 개선하고 주변 장치에 대한 수요를 줄이는 데 도움이 될 것입니다.

로드맵 2020
연료 전지

기술 로드맵

연료 전지 스택

열 시스템

주변 장치

전력 및 보조 관리

공기 및 유체 취급

저장 및 연료

연료 저장 및 관리

연료 전달

제어 시스템

수명주기

1 PEMFC용 수소 전달

연료 전지에 전달되는 수소의 품질은 특히 중요하며, 스택은 연료 공급의 순도에 민감합니다. 연료를 여과, 순환 및 조절하기 위해 다양한 주변 장치가 적용되어 에너지 변환 효율과 시스템 원가에 직접적인 영향을 줍니다. 수소의 품질(즉 순도)을 개선하면 펌프, 조절기, 커넥터, 값 및 노즐의 관련 개선이 이루어집니다.

장기적으로 액체 및 고체 상태의 수소는 수소의 여과와 조절 그리고 스택에 대한 수소 전달에 변화를 가져올 것입니다.

2 SOFC를 위한 여러 연료 전달

연료 전달 시스템은 불순물 제거 및 전지에 대한 효율적인 공급을 처리하거나 성능 및 전지 수명에 부정적인 영향을 미칠 위험에 대응해야 합니다.

연료를 스택의 작동 온도로 직접 가열하면 탄소 형성이 방지되고, 이로 인해 스택이 작동하지 않게 됩니다.

더 작고 더 효율적인 연료 개질기 시스템은 주변 장치의 수요와 그에 따른 비용을 줄이므로 대리 이점이 있습니다.

장기적으로 SOFC 연료 전달 시스템은 탈탄소화에 대응하기 위해 지속 가능한 넷제로 연료 공급원에 적응해야 합니다.



2020

2025

2030

2035

2040

제어 시스템

상용화를 지원하기 위해 일관된 규정, 기준 및 표준이 필요하지만 센서, 예측 제어 및 복잡한 모델 기반 제어를 더 많이 사용하면 전지 효율, 내구성 및 수명이 향상됩니다.

로드맵 2020
연료 전지

기술 로드맵



수명주기

멤브레인 전극 어셈블리와 같은 연료 전지의 핵심 구성 요소는 환경적으로 관리하기 어렵고 에너지 집약적으로 생산됩니다. FCEV 판매량이 증가함에 따라, LCA와 새로운 에너지 및 자원 효율적 접근 방식에 더 집중하여 영향을 최소화해야 합니다.



용어 해설

약어	설명
AI	인공 지능. 일반적으로 인간의 지능이 필요한 작업을 수행할 수 있는 스마트 머신 및 알고리즘.
CFRP	탄소 섬유 강화 폴리머 복합재
FCEV	연료 전지 전기차
FCH JU	연료 전지 및 수소공동사업기구 연구, 기술 개발 및 시연 활동을 지원하는 유럽의 공공 민간 프로그램.
GDL	가스 확산층
LCA	수명주기 평가. 제품 수명주기의 모든 단계(예: 원료 추출에서 가공, 제조, 사용 및 궁극적으로 재활용/폐기에 이르는)에 대한 환경 영향 평가.
MEA	멤브레인(코팅, 가스 확산층 및 촉매), 절연 플레이트 및 엔드 플레이트로 구성된 멤브레인 전극 어셈블리.
PEMFC	양성자 교환막 연료 전지
PGM	백금족 금속
RCS	규정, 기준 및 표준
SOFC	고체 산화물 연료 전지
TBO	오버홀 주기
TCO	총소유 비용
VOC	휘발성 유기 화합물은 다양한 화학 물질로, 일부는 인체 건강에 장기적인 영향을 미칠 수 있습니다.

이것은 APC에 의해서 가능해진 업계 합의 로드맵입니다.

2020 로드맵 업데이트 기간 중의 기업 참여 요약

업데이트에 참여한 기업의 증가

109개의 산업 조직이 워크숍 및 인터뷰에 참여했습니다.
38개의 산업 조직이 온라인 설문 조사를 통해 참여했습니다.
총 147개 산업 조직 참여



국제적 참여를 통한 국제적 관점

오스트리아	싱가포르
벨기에	스웨덴
영국	스위스
독일	미국
네덜란드	웨일스
스코틀랜드	일본

