

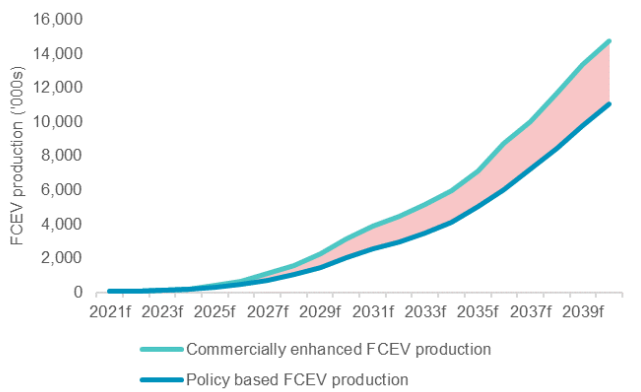
# 플라티넘 에센셜

연료전지 자동차(FCEV), 장기적인 백금 수요 성장 주도 전망

수소 지원 정책에 따라 2039년에는 연료전지 자동차(FCEV)의 백금 수요가 자동차 부문의 현재 수요를 따라잡을 수 있을 것으로 예상된다. FCEV가 널리 상용화된다면 그 시기는 2033년까지 앞당겨질 수 있으며, 11년 안으로 연간 300만 온스 이상의 수요가 증가하게 된다.

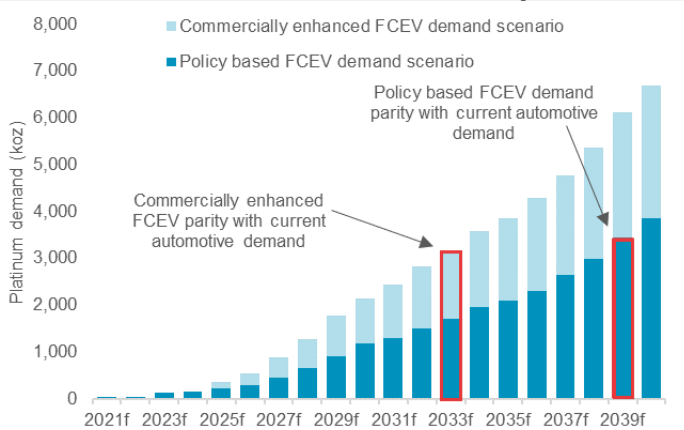
FCEV는 오래전부터 세계적인 탈탄소화 추세로 인한 자동차 관련 백금(플라티넘: Platinum) 수요 감소를 상쇄할 수 있을 것이라는 기대를 받았다. FCEV의 상용화는 그린 수소와 차량 생산량의 한계로 규모의 경제와 수소 충전 인프라 보급이 제약을 받으면서 더디게 진전되는 모습을 보였다. 하지만 이런 상황도 전 차종에 걸친 다양한 FCEV의 개발과 세계 각지의 정부 지원 정책 도입, 그리고 수소와 FCEV의 규모의 경제 확대로 점차 나아지고 있다. 러시아를 둘러싼 지정학적 위기와 40%에 달하는 유럽의 러시아산 가스 의존도를 낮춰야 할 필요성, 그리고 높은 천연가스 가격 역시 유럽의 그린 수소 친화적 정책 가속화에 힘을 실어줄 것이다. 이 보고서는 FCEV의 잠재적 백금 수요를 살펴보고, 지원 정책이 도입되었을 경우와 정책과 함께 FCEV가 폭넓게 상용화되었을 경우의 시나리오를 제시한다. 두 경우 모두 초반에는 진전이 더딘 모습을 보일 수 있으나 결과적으로는 상당한 수준의 수요 성장으로 이어질 것이다.

Figure 1 Global adoption of FCEVs is expected to accelerate dramatically under both policy-based and commercially-enhanced scenarios



Source: WPIC Research

Figure 2 Broad-based commercial adoption of FCEVs could see additional platinum demand reach current automotive levels by 2033



Source: WPIC Research

**Trevor Raymond**

Director of Research

+44 203 696 8772

[trevor@platinuminvestment.com](mailto:trevor@platinuminvestment.com)

**Edward Sterck**

Analyst

+44 203 696 8786

[esterck@platinuminvestment.com](mailto:esterck@platinuminvestment.com)

**Brendan Clifford**

Head of Institutional Distribution

+44 203 696 8778

[bclifford@platinuminvestment.com](mailto:bclifford@platinuminvestment.com)

World Platinum Investment Council

[www.platinuminvestment.com](http://www.platinuminvestment.com)

Foxglove House, 166 Piccadilly

London W1J 9EF

2022년 3월

- FCEV 관련 백금 수요 대폭 성장 기대
- 정책 도입 시 FCEV 관련 백금 수요 2039년까지 2022년 자동차 관련 수요 수준 도달 가능
- 폭넓은 FCEV 상용화로 2033년까지 2022년 자동차 관련 백금 수요 수준 달성 가능
- 지정학적 긴장과 에너지 가격 상승에 따른 유럽 수소 생산 개발 가속화, FCEV 상용화에 유리하게 작용

# 목차

서문.....	2
연료전지의 구조와 작동 원리.....	5
연료전지의 기동성.....	6
무지갯빛 수소.....	10
국가 수소 정책.....	10
기존 및 개발 예정 FCEV.....	13
FCEV 생산 예측.....	16
FCEV 수요 전망 세우기.....	20
FCEV 관련 백금 예상 수요.....	21
ICE 대비 FCEV 전망.....	22
결론.....	23

## 서문

세계적인 탈탄소화 필요성과 신기술 도입 초기에 발생하는 막대한 비용이라는 경제적 현실의 균형을 맞추기 위해서는 배터리식 전기자동차(BEV)와 연료전지 자동차(FCEV)는 물론, 마일드 하이브리드 가솔린과 디젤 차량 등 기존 내연기관(ICE) 차량의 효율 개선이라는 다면적인 접근이 필요하다. 아직까지는 디젤 차량의 이산화탄소 배출량이 가솔린 차량에 비해 훨씬 낮은 수준이라는 점은 특기할 만하다. FCEV 도입은 수소와 초기 차량 생산의 제약에 따른 규모의 경제의 한계와 수소 충전 인프라의 부재로 난항을 겪었다. 하지만 이런 장애들은 중량 및 경량 차량의 연료전지 기술 발전, 핵심 시장들의 수소 친화적 정책 도입, 그리고 그린 수소 생산 경제의 발전으로 어느 정도 해소되고 있는 것으로 보인다.

이 보고서는 FCEV의 구동 방식을 설명하고 국가 및 지역적 차원의 수소 정책, 그리고 그린 수소의 지정학적 전략적 효용성에 대한 개괄을 제공하는 동시에 FCEV 보급과 그와 관련된 백금 수요 성장 시나리오 2 가지를 제시할 것이다.

*이 보고서에서 다루는 것은 오직 도로 기반의 FCEV 뿐으로, 그린 수소 생산을 위한 고분자 전해질막(PEM) 수전해 설비의 보급이나 그와 관련된 백금 수요, 건설 및 철도, 해운 분야에서 쓰이는 연료전지, 그리고 고정형 연료전지에서 발생하는 상당량의 수요에 대해서는 다루지 않는다.*

### 지원 정책만 도입되었을 경우와 광범위한 상용화가 동반될 경우의 FCEV 보급 비교

세계 각지에서 지역 및 국가적 차원의 수소와 FCEV 지원 정책과 목표가 발표되었다. 재정 관련 세부 사항과 공약을 함께 공개한 경우도 상당수에 달한다. 우리는 이런 움직임이 FCEV 보급의 초석이 될 것이라 예상한다. 이 정책들의 목표는 수소 생산과 FCEV 산업의 성장을 유도해 사용성을 실현 가능한 수준까지 끌어올리고 규모의 경제를 달성해 결과적으로 광범위하며 자급이 가능한 상용화를 이뤄내는 것이다.

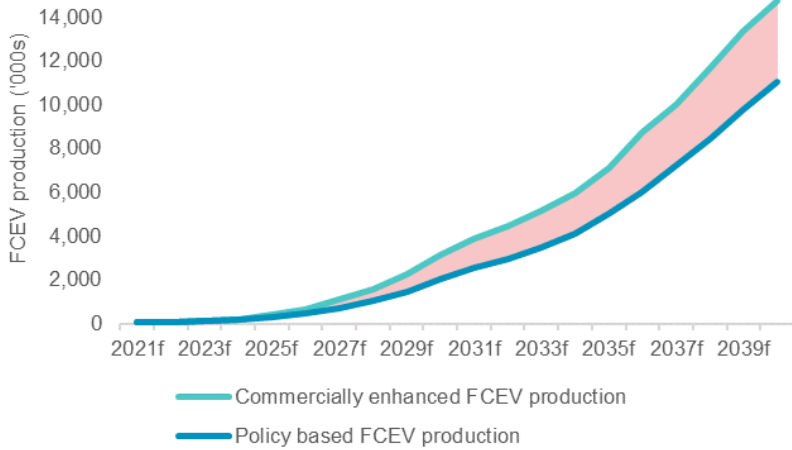
지금부터 제시할 2 가지 시나리오는 예상 범위의 양극단이며, 실제 결과는 그 중간 지점이 될 가능성이 높다. 하지만 수소 사용성과 기술 적용, 정책적인 지원, 그리고 비용이라는 요소 중 일부나 전부에 변화가 생겨 그보다 긍정적인 전개를 보일 가능성을 배제할 수는 없다. 정책 기반 시나리오에서는 연간 FCEV 생산량이 2030년에 200만 대를, 2040년에는 1,100만 대를 기록할 것으로 예상된다. 광범위한 상용화가 이루어질 경

*운송의 탈탄소화를 위해서는 모든 종류의 기술이 필요하다; FCEV 기술은 BEV에 도움이 되며, 배터리 활용이 어려운 분야의 탈탄소화에 핵심적인 역할을 한다.*

*정책 위주의 FCEV 보급과 광범위한 상용화를 동반한 보급 시나리오*

우의 생산량은 각각 300 만 대와 1,500 만 대다. 시장 침투는 각각 2030년에 2%에서 3%, 2040년에는 8%에서 11%를 기록할 전망이다.

Figure 3 Global adoption of FCEVs is expected to accelerate dramatically under both policy-driven and commercially-enhanced scenarios



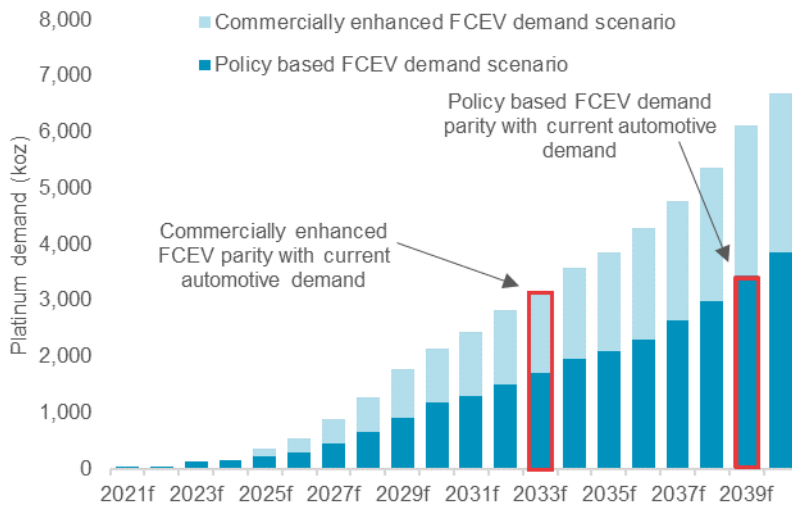
Source: WPIC Research

지원 정책 도입 시 2030년 기준 200만 대의 FCEV 생산량이 2040년 1,100만 대 달성 가능

광범위한 FCEV 상용화가 동반될 경우, 300만 대와 1,500만 대까지 가속화 가능

두 시나리오 모두 엄청난 수준의 잠재적 백금 수요를 보여준다. 기술이 이미 성숙한 수준에 접어들었음에도 불구하고 차량용 연료전지에 쓰이는 백금의 양을 더욱 줄이려는 적극적인 움직임을 반영한 경우에도 마찬가지다. 지원 정책 도입을 기반으로 한 시나리오의 경우, 2039년의 FCEV 관련 백금 수요는 2022년의 자동차 관련 수요와 맞먹는 수준에 도달할 것이다. 상용화까지 동반된다면 그 시기를 2033년까지 앞당길 수도 있다.

Figure 4 Broad based commercial adoption of FCEV could see automotive demand for platinum reach current automotive demand by the early 2030's



Source: WPIC Research

FCEV 백금 수요는 지원 정책만이 도입될 경우 2039년, 광범위한 상용화가 이루어질 경우에는 2033년까지 2022년의 자동차 백금 수요를 따라잡을 수 있다.

자동차 산업의 연간 백금 수요를 11년 만에 300만 온스 이상 추가하는 것은 무시할 수 없는 물량이다. 물론 ICE는 2030년대에도 드라이브트레인(구동렬)에서 상당한 비중을 차지할 것이다. 백금의 수요라는 측면에서 보았을 때, 사용량이 감소할 가능성은 엄격한 배기가스 배출 규제와 그에 따른 백금 사용량 증가, 그리고 팔라듐을 백금으로 대체하려는 추세로 충분히 상쇄될 수 있을 것이다. ICE 배기가스 조절을 위해 필요한 백금에 FCEV 관련 백금 수요가 더해질 경우, 공급 증가 없이는 백금 품귀 현상이 일어나고 FCEV의 성장률에도 타격이 갈 것이다. 향후 10년 동안 BEV가 배터리 원료 공급난을 겪을 수 있는 것과 마찬가지다. 하지만 이미 상당한 양의 백금 채고와 자원이 확인되었으며, 생산량이 수요 성장을 따라잡기까지는 긴 시간이 걸리지 않을 것이다. 백금의 공급 부족은 백금족 금

속 가격 상승에 힘을 실어줄 것이며, 2022 년 상반기에는 6.1 Moz(100 만 온스) 수준에 그쳤던 채광을 성장시킬 인센티브 역할을 할 것이다. 세계 각지의 수소 친화적 정책과 재정적 지원이 뒷받침된다면 그 효과는 더욱 뛰어날 것이다. 폭넓은 탈탄소화 기술 보급에도 도움이 될 것은 당연하다.

### 요점과 결론

- FCEV 는 규모의 경제에서 BEV 와 동등한 가격 경쟁력을 갖추기 위해 고도로 발달된 연료전지 기술을 활용한다.
- FCEV 는 BEV 와 경쟁보다는 보완 관계에 있다. FCEV 는 오프그리드 작동성과 하이레인지, 내한성, 고토크, 안정적인 가동성과 높은 공간 활용성, 빠른 연료 보충, 그리고 사용자의 개입 최소화가 필요한 상황에 더욱 적합하다.
- 연료전지에 가장 적합한 것은 주행거리와 차량 무게, 그리고 높은 공간 활용성에 가장 큰 영향을 받는 중량 차량들이다.
- 연료전지 생산업체들은 규모의 경제를 달성해 FCEV 시스템 전종의 비용을 낮추기 위해서 연료전지 승용차와 경상용차의 홍보에도 노력을 쏟을 것으로 예상된다.
- 운송을 포함한 각종 영역에서 사용되는 화석연료를 국내에서 생산한 그린 수소로 대체한다면 에너지 안보 측면에서 전략적인 이득을 볼 수 있으며, 지정학적 불확실성 속에서는 그 결과가 더욱 두드러질 것이다.
- FCEV 성장 전망은 BEV 가 과거에 보인 실적과 비견할 만한 수준이다.
- FCEV 관련 백금 수요는 기술이 이미 성숙한 단계에 접어들었음에도 연료전지의 백금 함유량을 점차 줄여나갈 것을 상정한다.
- 지원 정책과 광범위한 상용화가 동반된다면 FCEV 관련 백금 수요는 이르면 2033 년에 2022 년 자동차 부문의 백금 수요 전망을 따라잡을 수 있을 것이다.

마지막으로 고려해야 할 것은 러시아의 우크라이나 침공이 끼칠 잠재적인 영향력이다. 이 사태는 이 보고서가 작성되는 와중에도 지속적으로 심화되는 모습을 보였으며, 지정학적 긴장에 대한 대응이나 천연가스 가격이라는 경제적인 요소를 제어하기 위해 그린 수소 보급이 가속화될 가능성도 있다. 그런 상황이 벌어질 경우의 전망은 광범위한 FCEV 보급이 동반되었을 경우의 시나리오에 가까운 모습을 보이게 될 것이다.

*유럽이 러시아산 천연가스를 대체하기 위해 그린수소 생산에 박차를 가하는 것 역시 FCEV의 폭넓은 상용화에 유리하다.*

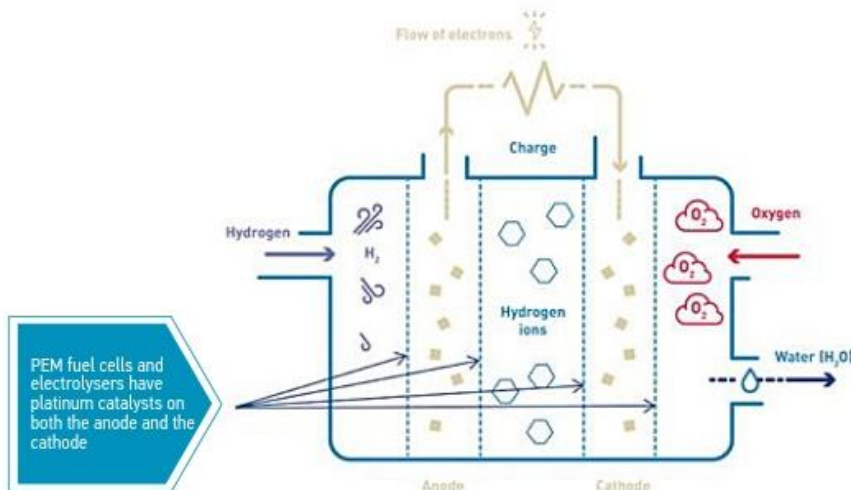
## 연료전지의 구조와 작동 원리

연료전지는 연료와 산화제의 산화환원반응에서 발생하는 화학 에너지를 이용해 발전한다. 현재는 수소가스를 연료로 사용하고 대기 중의 산소를 산화제로 삼는 것이 일반적이지만 과거에는 메탄올 등을 사용하기도 하였으며, 앞으로는 그린 암모니아를 사용하는 것도 고려하고 있다고 한다.

연료전지의 원형은 2세기 전인 1838년, 윌리엄 그로브(William Grove) 경에 의해 개발되었으며, 현재는 다양한 종류의 연료전지가 존재한다. 차량용 연료전지 중 가장 널리 쓰이는 것은 백금 촉매의 PEM 연료전지로, 크기가 작으면서도 전류밀도가 높으며 빠르게 출력을 조절할 수 있는 장점을 갖추고 있다. 고분자 전해질막(PEM, proton exchange membrane 혹은 polymer electrolyte membrane)은 양성자가 투과할 수 있는 이온노머 반투막(semipermeable ionomer membrane)이지만 전기절연체이자 반응장벽의 역할을 한다. 전자를 통과시키지 않는 비전도성과 산소와 수소를 투과시키지 않는 불침투성을 갖추고 있다는 뜻이다. PEM 연료전지는 '스택(stack)', 즉 백금 촉매를 사용하는 음극과 양극 사이에 수많은 막이 겹겹이 쌓인 막전극접합체(Membrane Electrode Assembly, MEA)로 구성되어 있으며 이 막이 고체 전해질의 역할을 한다. 양극에서 수소 가스와 백금 촉매가 반응해 수소 원자들이 전자와 양성자로 분해된다. 전자는 전류가 되어 음극으로 흐르고, 양성자는 막을 가로질러 음극에 도착한 뒤 산소와 전자의 흐름과 결합해 물을 형성한다. 이 물은 다시 투과성 촉매를 통과해 연료전지 외부로 배출된다.

연료전지 기술의 선두인 고분자 전해질막(PEM) 연료전지는 수소를 전자와 양성자로 분해하기 위한 촉매로 백금을 사용하며, 수소와는 별개로 산소 감소를 가속화시키기 위해서도 사용한다. 전기와 열, 그리고 물은 그 결과물이다.

Figure 5 Fuel cell schematic



source: Graphic from Airliquide Proton Exchange Membrane

운동학적인 관점에서 보았을 때 양극의 전기화학적 과정은 매우 빠른 속도로 일어나며, 필요로 하는 백금 함량도 적다. 하지만 음극은 그에 비해 느린 움직임을 보이며 그에 따라 필요한 백금의 양도 많다. 일반적으로 백금 함량을 줄이거나 다른 물질로 대체할 여지가 큰 것이다.

백금이 음극 촉매로서 갖는 커다란 이점은 산화환원으로 인한 극단적인 부식환경에서도 안전성을 보이면서도 산소를 활성화시키고 그 결과 발생하는 물 분자를 배출할 수 있다는 것이다. 음극을 분해할 수 있는 과산화수소의 발생을 억제할 수 있다는 점 역시 장점이다.

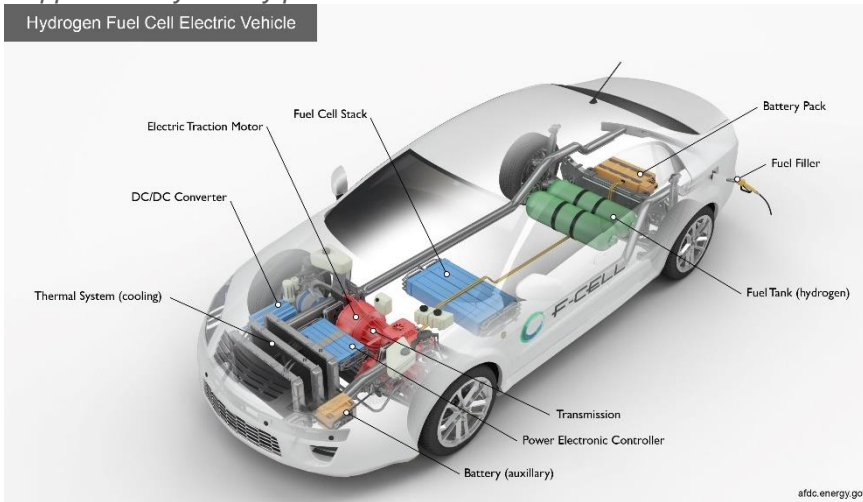
다른 촉매들과 마찬가지로 백금 역시 불순물로 인한 독성 문제가 있다. 수소와 관련해 가장 심각한 문제는 유황 화합물과 일산화탄소일 것이다. 불순물이 발생하는 이유에는 여러 가지가 있겠지만, 독성 억제에 가장 효과적인 방법은 청정한 수소를 사용하는 것이다. 수전해로 생성되는 그린 수소는 순도가 높은 반면, 천연가스 개질로 생산하는 그레이나 블루수소는 연료전지에 사용하기 전 정화가 필요하다. 수소연료의 생산과 특징에 대해서는 이 보고서의 '무지갯빛 수소' 항목에서 자세히 확인할 수 있다.

## 연료전지의 기동성

연료전지 자동차(FCEV)는 배터리식 전기자동차(BEV)와 마일드-하이브리드 전기자동차(MHEV) 양쪽 모두와 공통점을 가지고 있다. BEV와 마찬가지로 하나 이상의 전동기에서 동력을 얻으며, 크고 육중한 배터리팩이 아닌 연료전지를 에너지원으로 사용한다. 실제로 FCEV와 BEV가 공유하는 부품과 시스템은 일반적으로 ~80%에 달한다. 상대적으로 크기가 작기는 하지만, 회생제동으로 얻은 에너지를 저장할 수 있는 보조 배터리를 장착해 강한 가속 상황에는 모터에 동력을 전달하기도 한다. 주된 동력이 발생하는 것은 내연기관(ICE)이 아닌 전기 모터다. 중요한 것은 FCEV가 따로 충전할 필요가 없는 '오프그리드' 차량이라는 점이다. 소비자들이 도로 주변이나 자택의 충전소를 찾기 어려운 도심 지역에서는 큰 장점이 될 것이다.

*FCEV에 사용되는 부품과 시스템의 80%는 BEV와 공유가 가능하다.*

Figure 6 FCEV schematic, showing the fuel cell, electric motor, and small supplementary battery pack



*BEV 차종을 FCEV로 출시하거나, BEV에 연료전지를 탑재해 주행거리 연장장치로 활용하면서 배터리 수명 후반의 품질 저하를 상쇄할 수 있을 가능성도 있다.*

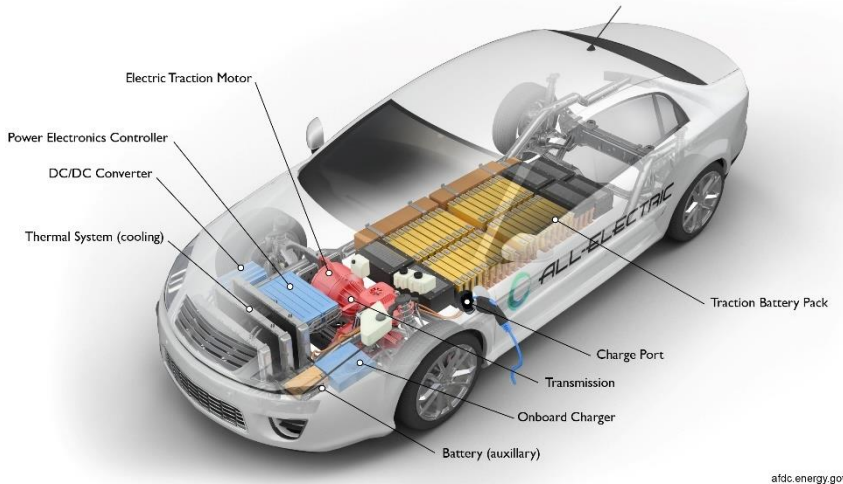
Source: How Do Fuel Cell Electric Vehicles Work Using Hydrogen? 2021. U.S. Department of Energy Alternative Fuels Data Center. Accessed February 3, 2022. [afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work](https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work)

## FCEV의 장점과 단점

FCEV는 충전 인프라가 구축되어 있지 않거나, 배터리의 수명을 단축시키는 급속 충전에 의존하지 않으면서도 먼 거리를 이동할 수 있고 높은 공간 활용성을 갖춰 효율적으로 자본 비용을 사용할 수 있다는 점에서 BEV의 보완재라고 할 수 있다. 일상적 사용성에 있어서도 소비자 행동의 영향을 크게 받지 않는다. FCEV의 시장침투가 당면한 가장 큰 난관은 초기 차량과 수소 생산의 한계로 규모의 경제가 제약을 받고 있다는 것과 수소 충전 인프라의 부재다. 이는 지역에 따라 가변적인 요소로, 적절한 정책적 지원이 있다면 큰 도움을 얻을 수 있을 것이다.

Figure 7 BEV schematic, showing the electric motor and large, heavy battery pack

All-Electric Vehicle

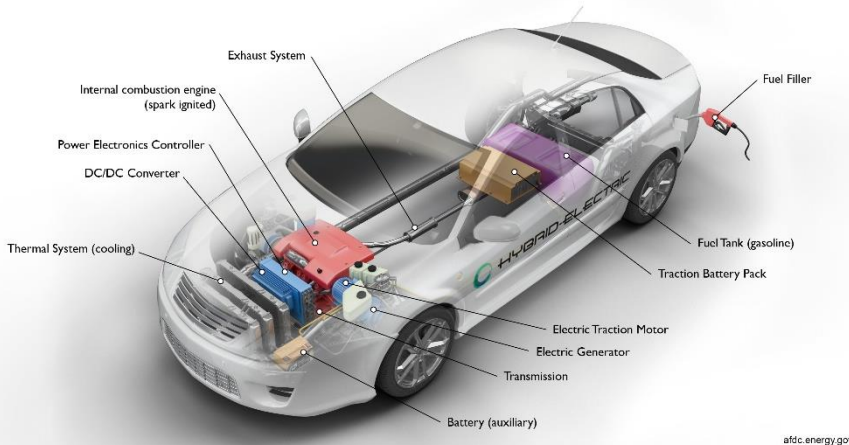


afdc.energy.gov

Source: How Do All-Electric Cars Work? 2021. U.S. Department of Energy Alternative Fuels Data Center. Accessed February 3, 2022. [afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work](https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work)

Figure 8 MHEV schematic, showing the battery pack and (gasoline or low-CO<sub>2</sub> diesel) ICE with ancillary electric motor

Hybrid Electric Vehicle



afdc.energy.gov

Source: How Do Hybrid Electric Cars Work? 2021. U.S. Department of Energy Alternative Fuels Data Center. Accessed February 3, 2022. [afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work](https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work)

FCEV의 주된 장점은 BEV에 비해 차체가 압도적으로 가벼우며, 신형 BEV 일부가 따라잡으려는 모습을 보이고는 있지만 주행거리 역시 여전히 훨씬 길고, 충전 또한 빠르다는 점이다. 주행거리를 걱정할 필요가 없으며 충전도 3~4분 안에 끝마칠 수 있다는 점은 일상적인 사용성이라는 측면에서 ICE와도 경쟁할 만하다. BEV 업체들은 고속 충전에 걸리는 시간은 고작해야 15분에서 20분 사이로, 가볍게 커피를 한 잔 하고 굳은 몸을 풀고 오면 충전이 완료되어 있을 것이라고 주장한다. 틀린 주장은 아니지만, 고속 충전은 리튬이온 배터리의 최적 사용 조건을 크게 벗어나며 상당한 비용을 들여 교체해야 하는 배터리팩의 수명을 깎는 일이기도 하다. 고속 충전을 사용하지 않고 배터리 수명을 극대화할 수 있겠지만 이 경우에는 고용량 충전기를 사용하더라도 2~4시간이 소요된다. 가정의 '완속(trickle)' 충전기를 사용한다면 비교할 만한 거리를 달리기 위해 8~10시간 이상이 걸릴 수도 있다. 주행거리와 배터리 수명의 문제는 계절의 변화나 추운 기후로 더욱 악화될 가능성도 있다. 낮은 온도는 배터리 내부저항을 크게 높이고, 주행거리와 수명을 단축시킨다. 반면 PEM 연료전지는 -30°C까지도 안정적인 성능을 유지할 수 있다. ICE 차량들도 같은 환경에서도 움직일 수는 있겠지만 플러그인 히터나 파라핀, 아니면 프로판 난로를 동원해야 할지도 모를 일이다. 외딴 지역이라면 엔진 밑에 불을 피워야 할지도 모른다. 연료전지가 관심을 보이면서도 아직 진출하지 못한 영역으로는 애프터마켓이 있다. 낮은 BEV의 주행거리를 늘리기 위해 수명이 다한 배터리를 대신하

FCEV는 추운 기후나 충전용 인프라가 없는 환경, 그리고 높은 공간 활용성이나 긴 주행거리가 필요한 사용자들에게 적합하다.

거나, 차량 내부의 공간을 일부 희생해서라도 주행거리나 충전이라는 부담감을 더는 것이다.

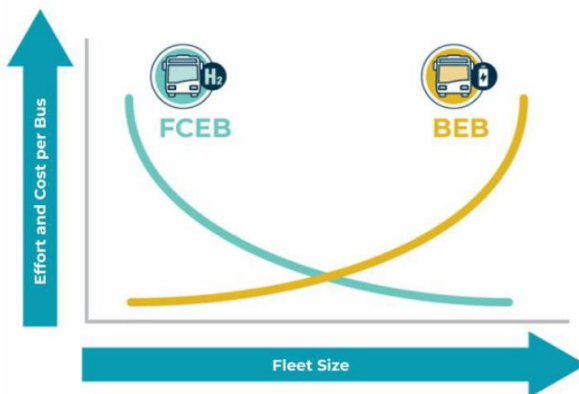
BEV가 FCEV에 비해 유리한 점은 재생 에너지를 사용하거나 수소를 충전할 때, 연료 생산에서 자동차 구동까지의 과정(well-to-wheel, WTW)에서 BEV는 ~62%의 효율을 보이는 반면, FCEV의 효율은 ~40% 수준이라는 점이다. FCEV는 아르곤 국립 연구소(ANL, Argonne National Laboratory)의 GREET 모델을, BEV는 미국 환경보호청(EPA)에서 제공한 수치에 따랐다. 하지만 이 수치는 공간활용률과 자본 비용을 고려하는 순간 크게 변화한다. 시내 버스나 장거리 화물차, 공장이나 농장 장비, 창고용 지게차 등 효율적인 공간활용이 필수적인 환경에서 FCEV의 공간활용률은 >90%에 달하는 반면, 배터리 충전 사이클에 따라 움직이는 BEV의 활용률은 <50% 수준에 그친다. 자본 비용이라는 측면을 고려하면 엄청난 차이라고 할 수 있다.

BEV는 그린수소를 사용하는 FCEV에 비해 훨씬 효율적으로 전기를 사용한다.

또한 경차 충전이 지금 당장 전력 그리드에 부담을 주지는 않겠지만, 특정 보급 단계에서는 그리드 업그레이드가 필요할 것이다. 밤새 많은 차량을 충전해야 하는 차고에 기반을 두고 운행되거나 기회가 닿을 때마다 충전을 시도해야 하는 중량 차량의 경우에는 그리드 업그레이드가 필수적이며, 규모가 커지면 커질수록 더욱 그렇다. 다만 하단에 제시된 버스 회사의 도식으로도 알 수 있듯이, 충전 속도가 빨라지면 그만큼 많은 차량을 소화할 수 있어 차량의 수가 늘어날수록 차량당 수소 충전 인프라 설치 비용은 낮아지게 된다.

FCEV는 전력 그리드 수요에 상대적으로 적은 영향을 끼치며, 이는 중량 차량을 다수 보유하고 있을 경우 충분히 고려할 만한 사항이다.

Figure 9 Per vehicle refuelling costs for FCEV fall with increasing fleet size, whereas the additional grid upgrade costs for BEVs continue to grow with the fleet



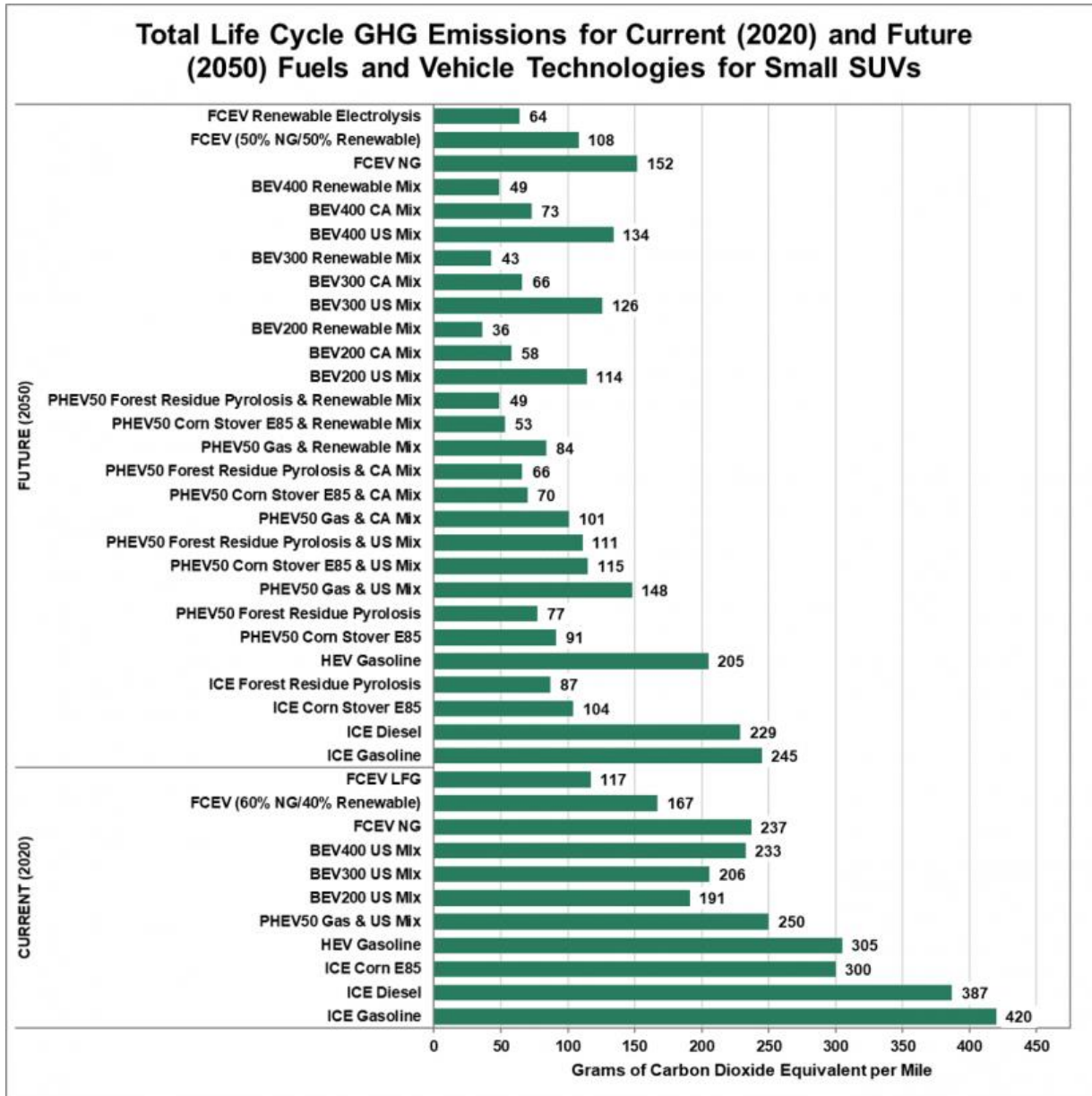
Source: Center for Transportation and the Environment (CTE), IDTechEx

그린 수소는 그리드 수요가 낮을 때 과잉 생산된 재생 에너지를 저장하기에 알맞은 수단으로, 풍력 터빈을 페더링 상태로 두는 등의 방식에 대한 대안이 되는 동시에 FCEV의 WTW 효율성을 더욱 끌어올려줄 수 있다. 양수 발전 장치나 배터리, 압축공기 시스템 등 다양한 에너지 저장 솔루션이 있지만 수소는 전력을 그리드에 잡아두는 것에 그치지 않고 이동성을 제공할 수 있다는 장점이 있다.

그린 수소는 그리드 수요가 낮을 때 과잉 생산된 재생 에너지를 저장할 수 있는 수단이며, 그리드 스케일 배터리와 달리 이동이 가능하다.



Figure 10 FCEVs fare well on comparative total life cycle greenhouse gas emissions, both today and on future projections



Source: U.S. Department of Energy, Office of Vehicle Technologies, Hydrogen and Fuel Cell Technologies & Bioenergy Technologies, Note: FCEV = fuel cell electric vehicle. HEV = hybrid-electric vehicle. BEV = battery-electric vehicle. PHEV50 = plug-in hybrid electric vehicle with 50-mile electric range. ICE = internal combustion engine. NG = natural gas. E85 = 85% ethanol and 15% gasoline. LFG = landfill gas

마지막 비교점은 BEV 와 FCEV 의 상대적인 '청정성' 경쟁이다. 양쪽 모두 배터리 충전이나 수소 생산(수전해)에 쓰이는 에너지원 이상으로 친환경적일 수 없다는 한계가 있으며, 블루나 그레이수소의 경우에는 이산화탄소 배출 문제도 있다. 다만 연료전지는 배터리에 쓰이는 수많은 혼합 금속에 비해 훨씬 환경에 무해한 물질로 구성되어 있으며, 폐차 시점의 백금 가격이나 FCEV 의 백금 함유량에 따라 차이가 있겠지만 재활용도 용이하다.

현재 시점을 기준으로 연료전지의 재활용성은 배터리보다 뛰어나다.

친환경성 논쟁에서 결정적인 결론을 내리는 것은 어려운 일일뿐더러, 해당 차량이 운행되는 지리적인 환경에도 큰 영향을 받는다. Fig. 10 에서도 확인할 수 있듯이, 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)는 차량 수명 중 온실가스 배출량이라는 기준에서 보았을 때 그린수소를 사용하는 FCEV 가 미국에서 사용되는 동력기 중 가장 우월한 편에 속한다고 판단했으며, 상술한 효율성 측면에서 100% 재생에너지만을 사용해 충전하는 BEV 에 밀려났을 뿐이다. 다만 이는 공간활용률을 반영하지 않은 결과다.

## 무지갯빛 수소

수소 연료 생산에는 다양한 방식이 있으며, 그에 따라 친환경성과 포함된 불순물에도 차이가 있다. 빠른 구분을 위해 생산방식에 따라 다른 색상이 지정되어 있다:

**그린 수소:** 탄소 배출이 없는 그린 수소는 탄소 발자국을 최소화하기 위해 재생에너지를 사용한 수전해로 생산되며, 불순도가 낮다.

*그린 수소는 재생에너지를 사용해 생산된다.*

**옐로우 수소:** 용량 활용성을 극대화하기 위해 재생 에너지를 사용하는 동시에 재생 에너지 활용이 어려울 경우에는 혼합 에너지를 사용해 생산된다. 탄소 발자국은 중간 수준이지만 불순도는 낮다.

**핑크 수소:** 탄소 발자국을 최소화하고 불순도를 낮추기 위해 원자력을 사용한 수전해를 통해 생산한다.

**청록색 수소:** 천연가스나 메탄의 열분해로 생산되며 부산물로 고체 탄소가 발생한다. 탄소 발자국과 불순도가 낮다.

**블루 수소:** 천연가스나 석탄의 증기 개질로 발생한 탄소를 포집 및 저장해 생산한다. 탄소 발자국은 중간에서 낮은 수준으로, 불순물이 혼입되어 있다.

*유럽은 러시아 천연가스 의존도를 낮추기 위해 블루와 그레이 수소를 논의로 두고 있다.*

**그레이 수소:** 천연가스의 증기 개질로 생산되지만 이산화탄소가 배출된다. 탄소 발자국은 중간에서 높은 수준이며 불순물이 혼입되어 있다.

**브라운/블랙 수소:** 흑탄이나 갈탄을 가스화시키며 이산화탄소가 배출된다. 탄소 발자국은 높은 수준으로 불순물이 혼입되어 있다.

**화이트 수소:** 과거에는 자연적으로 생성되는 수소를 뜻했으나 현재는 산업 부산물로 발생한 수소를 뜻한다.

## 국가 수소 정책

이미 언급했다시피 FCEV 도입 초기의 가장 큰 장애물은 인프라와 정책에 관련된 사안들이다. FCEV 가 소비자들에게 현실적인 선택지가 되기 위해서는 수소 충전소(HRS)가 필요하지만, 생산업체는 HRS 네트워크가 자리를 잡기 전까지는 FCEV 개발에 크게 투자하려 하지 않고, 정부는 소비자들이 FCEV 를 사용할 수 있다는 것을 확인하기 전까지는 HRS 보급을 지원하려 하지 않는다. 닭과 달걀의 딜레마와 비슷한 구도다.

일부 지역과 국가에서는 수소와 FCEV 전략 발표로 HRS 네트워크 개발이 진전을 보이고 있다. 다만 이전 페이지의 Fig. 10 에서도 보였듯이 수전해 역량과 HRS 네트워크의 규모, FCEV 판매 등 다양한 목표가 설정될 수 있는 만큼 비교는 어려울 듯하다. 주목할 국가는 2030 년까지 1,000 곳의 HRS 를 설치할 예정인 중국과 2022 년 안에 80,000 대의 FCEV 와 310 곳의 HRS 를 설치할 예정인 한국, 그리고 2023 년까지 400 곳의 HRS 를 설치할 목표를 세운 독일이 있다. 한국은 2040 년까지 연간 620 만 대의 FCEV 를 생산해 320 만 대를 수출하겠다는 장기적인 계획을 세우기도 했다. 북미는 예전부터 평균 이산화탄소 배출량을 대상으로 한 배기가스 정책을 도입했으며, 유럽도 2021 년부터 유사한 정책을 도입했다. 자동차 업체들이 평균배출량 감소를 위해 FCEV 개발에 나서야 할 또 다른 이유다.

Figure 11 Select green hydrogen and FCEV policies and funding

Country	2030 deployment targets	Public investment committed
Australia	N/A	A\$1.3B (US\$0.9B)
Canada		C\$25M by 2026 (US\$19M)
California	200 HRS by 2025	US\$20M p.a. Grants of US\$4,500 to US\$9,500 per FCEV
China	1,000,000 FCEVs 1,000 HRS by 2030 2,000 HRS by 2035	No coordinated central funding or subsidies as yet
EU	40GW electrolysis	€3.8B by 2030 (US\$4.3B)
France	6.5GW electrolysis 20,000-50,000 LV 800-2,000 HD 400-1,000 HRS	€7.2B by 2030 (US\$8.2B)
Germany	5GW electrolysis	€9B by 2030 (US\$10.3B)
Japan	800,000 FCEV 1,200 FC busses 10,000 FC forklifts 900 HRS	¥699.6B by 2030 (US\$6.5B)
South Korea	Annual production of 6.2M FCEV 1,200 HRS 80,000 FC taxis 40,000 FC buses 30,000 FC trucks 15GW stationary FC produced	₩2.6T by 2030 (US\$2.2B)
Netherlands	30,000 FCEV 3,000 FC HV	€70Mpa (US\$80Mpa)
Spain	4GW electrolysis 5,000-7,500 FCEV (LV+HV) 100-200 FC buses 100-150 HRS	€1.6B (US\$1.8B)

수소 생산과 수소 충전소 네트워크 개발을 지지하는 국가 정책이 세계 각지에서 제정되었다.

Source: IEA, DOE, ICCT, WPIIC Research

그린 수소와 탄소포집저장(CCS) 기술을 활용한 블루 수소가 탈탄소화 산업과 난방의 중대 요소이자 과잉 생산된 재생 에너지의 저장 수단으로 점점 주목을 받고 있다는 점도 특기할 만하다.

### 전략적 에너지 독립은 수소 생산 가속화에 힘을 실어준다

국내 그린(혹은 핑크) 수소 생산은 지정학적 긴장이 고조되고 국제 에너지 공급이 정치적 영향력으로 행사되는 상황에서 중요한 자산이 될 수 있으며, 국내 에너지 정책에 영향을 줄 것이다. 이러한 측면이 갑작스럽게 주목을 받게 된 것은 보고서 작성 중 러시아가 우크라이나를 침공한 영향으로, 이 사태로 러시아는 세계적으로 고립되고 각종 제재에 노출된 상태다. 유럽은 천연가스 수요의 약 40%를 러시아에 의존하고 있으며, 에너지 가격이 상승하면서 러시아에 효과적으로 군비를 지원하는 곤란한 처지에 빠졌다. 유럽의 가스 수요를 채울 수 있는 대안이 제한적이라는 것도 큰 문제다.

그린 수소는 국제적 에너지 독립의 해결책이 될 수 있다.

이 보고서의 작성 중 이미 발표된 해결책 중 하나는 그린 수소 생산의 가속화다. 유럽은 천연가스 네트워크에 수소 20%를 혼입하는 것으로 파이프나 밸브, 가정용 난방 등의 천연가스 인프라를 그대로 유지하면서도 러시아에 대한 의존도를 반으로 낮출 수 있다. 이는 보다 장기적으로도 유지 가능한 해결책이다. 러시아 지도부가 20년 이상 꾸준히 국제법을 무시하는 모습을 보여왔다는 것을 감안했을 때, 이번 사태는 러시아에 외화나 정치적 영향력을 쥐여줄 수 있는 경제적 관계를 최소화해야 할 지속적인 필요가 있다는 것을 보여주는 사건이라고 보아야 할 것이다.

러시아의 침공과 에너지 가격 상승의 부작용 중 하나는 그린 수소가 현재 사태의 영향으로 부풀려진 천연가스를 상대로 경제적인 경쟁력을 갖추게 되었다는 것이다.

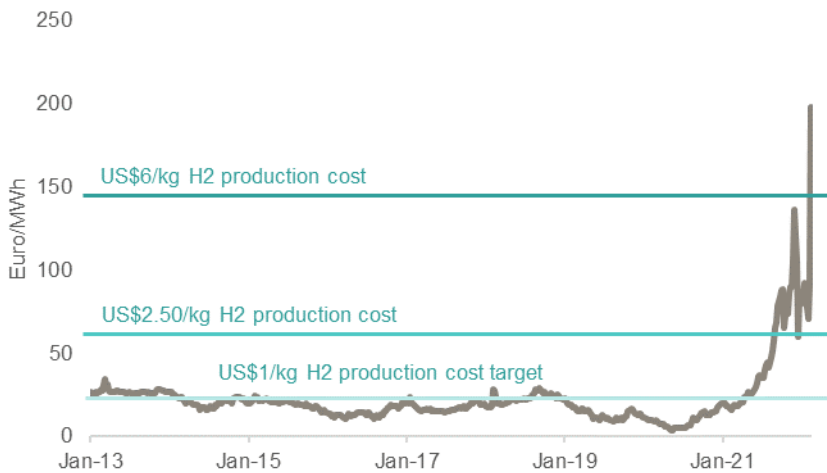
수소가 갖춘 경쟁력을 살펴보면 다음과 같다:

- 재생전력을 활용한 그린 수소 생산에는 현재 kg 당 \$3~\$6 의 비용이 발생한다.
- 수소 산업은 예전부터 기술 발전과 규모의 경제를 통해 생산비를 kg 당 \$1 까지 낮추는 것을 목표로 삼았다.
- Kg 당 \$1 의 생산비는 과거 가스 가격과 경쟁이 가능한 가격 수준이다
- 국제 가스 가격은 2021 년 중순부터 상승했으며 우크라이나 침공 이후 더욱 가파르게 상승 중이다
- 현재 유럽의 가스 가격은 kg 당 \$6 의 수소 생산비와 맞먹는 수준이다

그린 수소 생산 비용은 규모의 경제 확대에 따라 감소할 것으로 보이며, 현재도 각종 상황으로 인해 상승한 탄화수소 연료와 경쟁할 수 있는 수준이다

이 가격 분석에는 러시아 에너지에 대한 의존도 축소에 따른 전략적 이득은 포함되지 않았다. 가스 가격은 일시적인 상황에 따라 강세를 보이고 있으나 과거와 같은 수준까지 상승하지는 않을 것으로 보인다. 유럽 국가들이 에너지 안보와 대차대조표 개선을 위해 선택해야 할 길은 명백하다. 수소 1kg 당 \$4~\$5 수준의 최저가격을 제공하고 민간 투자를 끌어들이 수익성이 있는 수소 인프라를 구성하는 것이다.

Figure 12 Chart of weekly average European day-ahead gas prices (Peg as); Note that spot prices of >€140/MWh equate to >US\$6/kg H2



자동차 관련 그린 수소의 수요는 천연가스를 대체하기 위해 필요한 수소의 양에 어느 정도 연관이 있다. 우리가 제시한 지원 정책 기반의 시나리오에서 유럽의 FCEV 관련 수소 수요는 2030 년 기준 <200kt 수준이며, 유럽은 러시아산 가스를 대체하기 위해 그린 수소 생산량을 2030 년까지 최대 2,000 만 톤까지 늘릴 계획이다.

Source: Bloomberg, WPI/C Research

지금까지는 천연가스 공급의 안정성에 주로 집중했지만, 수소 생산이 증가하면 HRS 보급과 광범위한 FCEV 상용화도 가속화될 것으로 예상된다. 인프라적 관점에서 보았을 때 국제 원유 거래의 재조정이 천연가스보다 쉬운 것은 사실이지만, 유럽은 약 25%의 원유를 러시아에서 수입하고 있기 때문이다. 이대로 상황이 이어진다면 FCEV 도입이 더욱 가속화되고 관련 백금 수요가 우리의 예측 상한치에 근접하게 될 수도 있다.

## 기존 및 개발 예정 FCEV

초창기 FCEV 도입을 주도한 것은 버스와 지게차 업체들이다. 업체들이 직접 전용 HRS 를 도입할 수 있다는 점에서 차고지를 기반으로 삼는 운영 방식은 FCEV 에 최적화된 것이라고 볼 수 있다. 창고 내부에서 주로 사용되는 지게차도 마찬가지로 상황이며, 작업 시간이 끝나가면 출력도 점점 떨어지는 배터리보다 FCEV 가 유리하기도 하다.

현재 경차 소비자 시장의 선두주자는 현대의 넥쏘(NEXO)와 토요타 미라이(Mirai)로, 두 기업 모두 몇 년 전부터 FCEV 를 생산하고 있다. 앞으로 출시될 예정인 경형 FCEV 는 BMW 의 iX5(2022 년)와 혼다의 클래리티(2023 년, 재출시), 현대 스타리아(2023 년), 기아/현대 합작인 FK, 랜드로버의 디펜더(Defender)와 이네오스 그레나디어(Ineos Grenadier) 등이 있다.

*현대, 토요타, 그리고 BMW 는 FCEV 를 가장 열렬하게 지지하는 기업들이지만, 그 외에도 수많은 기업들이 새로운 모델 출시를 계획하고 있다.*

Figure 13 Toyota Mirai FCEV, available to buy or lease now



Source: Toyota Motor Corporation

경상용차(LCV)는 상대적으로 개발이 늦은 분야지만 새로운 선택지는 더욱 많을 것으로 보인다. 포드(Ford)와 르노(Renault), 스텔란티스(Stellantis), 그리고 테바(Teva)가 2 년 안에 FCEV 경상용차 판매를 개시할 계획이다.

Figure 14 Zerro FCEV Ambulance



Source: Zerro Ambulance

FCEV 가 저탄소 대안 동력차를 상대로 가장 강점을 보일 수 있는 분야는 공간 활용성과 배터리 무게로 인한 하중용량 감소, 그리고 도로 파손과 타이어 마모는 물론 다리 등 각종 인프라의 통행가능 차량 중량 제한 등 실질적인 제한에 시달리는 대형 차종을 포함한 중량(Heavy Duty) 차량일 것이다. 가장 많은 업체들이 발을 들인 분야지만 개발은 경차 분야보다도 뒤쳐진 상태로, 대부분의 차량이 개발과 실험 단계 사이에 머물러 있다. 현재 HD 연료전지 트럭을 개발 중인 기업은 하이존(Hyzon)과 커민스(Cummins), 발라드(Ballard), 볼보(Volvo), 다임러(Daimler), 보쉬(Bosch), 현대, 만(MAN),

*FCEV 가 배터리식 차량에 비해 유리한 점은 주행거리와 충전 시간, 그리고 공간 활용성이 뛰어나며 차량 무게가 가볍다는 것이다.*

토요타, 그리고 니콜라(Nikola)가 있다. 버스는 상술했다시피 중국과 유럽을 위주로 세계 각지의 도시를 누비고 있다.

Figure 15 Hyundai Xcient fuel cell truck implemented in Switzerland for fast moving consumer goods transport

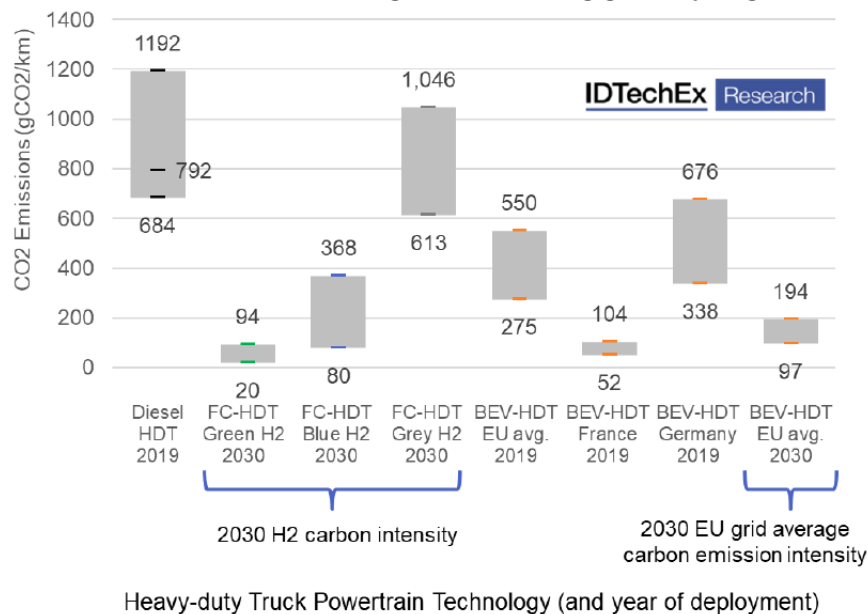


Source: Hyundai Motor Company

국제청정교통위원회(ICCT)에 의하면 HD 분야가 전세계 차량에서 차지하는 비중은 10%에 불과하지만 온실가스 배출량은 43%에 달한다고 한다. IDTechEx 는 HD 섹터가 그린 수소를 사용하는 FCEV 로 전환할 경우 엄청난 이산화탄소 절감 효과를 볼 수 있을 것이라는 예측을 내놓았다.

HD 차량이 차지하는 비중은 10%에 불과하지만 온실가스 배출량은 43%에 달한다.

Figure 16 IDTechEx estimates that the HD segment could deliver significant emission reductions switching to FCEVs using green hydrogen



Source: Hyundai Motor Company

유럽환경국(European Environmental Bureau)은 2017 년, 광산을 포함한 건설 섹터가 전세계 최종 에너지의 36%를 사용하며, 이산화탄소 배출과 관련된 에너지의 경우에는 39%를 사용한다고 발표했다. 광산용 트럭 한 대의 무게는 220 톤이며 시간당 134 리터의 디젤 연료를 사용한다. 연료전지는 현장에서 재생 에너지를 사용해 연료를 생산할 수 있으며 공간 활용률이 높다는 장점을 갖추고 있어 광산용 트럭이나 굴삭기, 농경용 트랙터 등 산업 및 농업용 장비의 탈탄소화에 적격이다. WPIC 멤버인 앵글로 아메리칸 플라티넘(Anglo American Platinum)은 2034 년까지 직접 운영하는 것을 포함해 400 대의 광산용 트럭을 FCEV 로 전환하겠다는 목표를 세웠다.

*이 보고서에는 포함되지 않았으나, 연료전지는 건설과 철도 분야에서도 활용되고 있다.*

세계 각지에서는 다양한 업체들이 현재 디젤 기관차를 운행 중이며 상업적으로 전화(electrify)하기 어려운, 지선이나 외진 노선을 중심으로 연료전지 열차를 시험 운행 중이다.

Figure 17 Anglo American Platinum mine truck



Source: Anglo American

Figure 18 FCEV bus falls into the HD category



Source: Ballard

규모는 작으나 FCEV 의 주행거리와 충전 능력에서 수혜를 볼 수 있을 마지막 분야는 자동차 경주다. 24 시간 동안 진행되는 자동차 내구 경주인 르망(Le Mans)은 수소연료전지 홍보를 위해 2024 년 경기에 수소연료전지 부문을 신설할 예정이며, 현재 프로토타입을 선행개발 중이다.

## FCEV 생산 예측

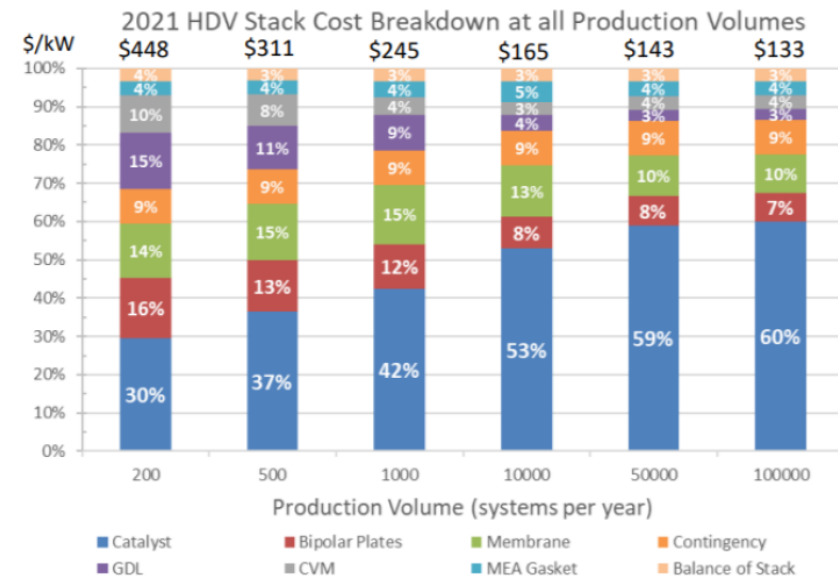
FCEV의 시장 침투 속도를 예상하는 것은 까다로운 일이다. 수소 경제에 대한 지지는 이미 상당한 수준이며 점점 규모를 더해가고 있으나, 현실이 단기적인 야망을 따라잡기란 쉽지 않다. 연료전지의 활용으로 가장 많은 수혜를 볼 수 있을 것은 경상용차(LCV)와 중량 차량이지만 가장 개발이 빠르고 많은 차종을 갖춘 것은 경차 부문이다.

우리가 확인할 수 있는 것은 지금까지의 경량 FCEV 생산량과 주요 업체들의 연료전지 생산능력 계획이다. 다만 생산된 연료전지가 도로나 오프로드용 차량을 위한 것인지, 아니면 고정형으로 쓰일지를 항상 알 수 있는 것은 아니다.

현대는 현재 연간 23,000 유닛의 연료전지를 생산할 수 있으며, 2023년 말까지 각각 50,000 유닛을 생산할 수 있는 공장 2 곳을 추가로 설립해 총 123,000 유닛의 생산능력을 갖추 계획이다. 2030년 목표 생산능력은 70만 유닛이며 이중 FCEV용 연료전지는 50만 유닛이다. 이 연료전지들의 출력과 백금 함유량이 넥쏘에 탑재된 것과 동일하다고 가정했을 때 발생하는 백금 수요는 123,000 유닛일 때 연 175 koz(1,000 온스), 70만 유닛일 때 100만 온스다. 다만 kW 당 사용되는 백금은 점차 줄어들 것으로 예상된다.

FCEV가 규모의 경제를 달성하고 설비비용을 ICE와 동등한 수준까지 낮추기 위한 핵심 요소가 생산량이라는 점은 주목할 만하다. 아래의 표는 미국 에너지부가 발표한 것으로, 연간 연료전지 생산량을 1,000 유닛에서 10만 유닛까지 늘리면 생산비는 절반 수준으로 떨어진다는 것을 확인할 수 있다.

Figure 19 Increasing economies of scale are key to bringing down fuel cell system costs



Source: US Department of Energy/Strategic Analysis Inc, IDTechEX

FCEV 생산 분야에서 가장 야심 찬 계획을 내놓은 것은 2030년까지 연간 70만 유닛의 연료전지 스택 생산능력을 확보하겠다는 현대다.

생산량은 규모의 경제를 달성하고 연료전지 가격을 낮추기 위한 핵심 요소다.



우리는 2 가지의 FCEV 보급 시나리오를 살펴보았다. 첫 번째는 국가와 지역 단위에서 보조금과 장려금을 지원하고 목표를 제시하는 정책 기반의 시나리오다. 두 번째는 국가 및 지역적 차원의 지원 정책으로 필요한 인프라가 갖춰지고 FCEV와 수소 생산이 규모의 경제를 달성해 실현 가능한 수준의 사용성과 비용을 기반으로 광범위한 상용화가 동반되는 시나리오다.

### FCEV 생산 전망

가장 먼저 강조해야 할 것은 우리가 제시할 지역적 FCEV 예측이 판매가 아닌 생산량을 기준으로 한다는 점이다. 이 사실은 특히 북미 지역에 큰 영향을 끼친다. 캘리포니아의 경량 FCEV 판매량은 세계 최고 수준이지만 그 대부분은 아시아에서 생산된 차량이다. 반면 중량 FCEV의 경우에는 미국이 주요 생산지역에 속하지만 연방 정부 단위의 일관적인 수소 정책이 존재하지 않는다. 이에 따라 정책 기반 시나리오에서 미국의 생산량을 예측할 때에는 보다 신중한 태도를 취하게 되었다.

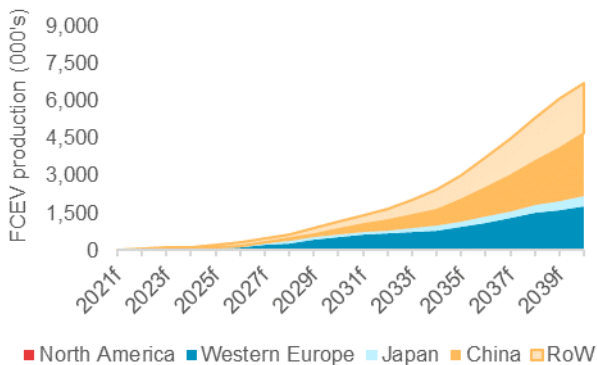
지역적 예측은 판매량이 아닌 생산량을 기준으로 한다.

### 경량 FCEV 생산 시나리오

정책 위주의 시나리오에서 경량 FCEV 생산을 주도할 것으로 예상되는 국가는 중국이다. 생산량의 50% 이상을 수출할 예정인 한국이 유럽을 제치고 그 다음 자리를 차지한다. 2024 년의 연간 생산량은 20 만 유닛, 2030 년 연간 생산량은 200 만 유닛에 달할 전망이다. 현재 경량 FCEV의 상업적 이용성이 경상용차와 중량 차량을 앞지르고 있다는 점을 감안하면 보급도 그만큼 빠르게 이루어질 가능성이 있다. 따라서 상용화 동반 시나리오에도 어느 정도의 생산량 증가가 반영되어 있기는 하지만 그 폭은 상대적으로 미미하다.

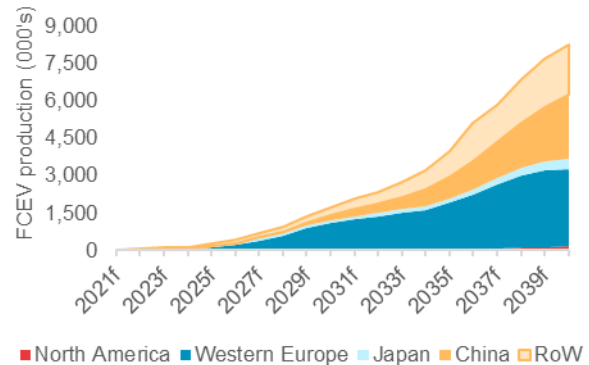
중량 FCEV 보급이 더 타당한 근거를 갖추고 있기는 하지만, 지역 수소 충전 인프라가 규모의 경제를 달성하기 위해서는 경량 차량의 보급도 중요하다.

Figure 20 Policy-based LV FCEV production by region dominated by RoW (South Korea), Europe and China



Source: WPIC Research

Figure 21. Commercially-enhanced LV production assumes greater output from Europe and North America



Source: WPIC Research

### LCV FCEV 생산 시나리오

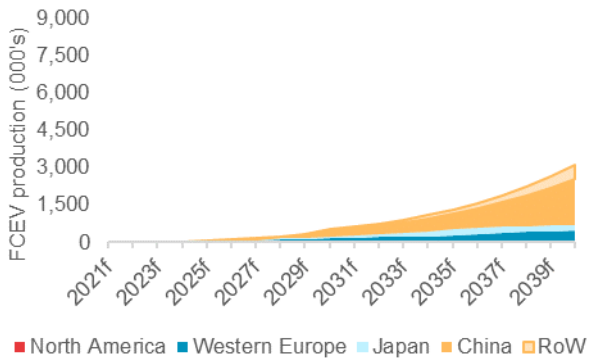
정책 기반 시나리오(Fig. 22)에서 경상용차 생산을 주도할 것으로 예상되는 국가는 중국과 한국이다. 폭넓은 상용화가 동반된 시나리오에서는 모든 지역의 생산량이 조금씩 상향 조정되었다. 경상용차와 경차의 구동계가 서로 호환될 가능성이 높다는 점을 고려한다면 자동차 업체들이 상대적 수요에 따라 둘 중 한 쪽을 우선시하면서 경상용차의 전망이 크게 변동할 수도 있다.

중국과 한국은 FCEV 성장을 주도하는 핵심 시장이다.

애초부터 다중 유닛 사용을 염두에 두고 연료전지를 설계한다면 중량 차량도 같은 상황을 겪을 수 있다. 현재 시험 운행 중인 토요타의 히노 트럭은 미래에 사용되는 것과 같은 연료전지 2 개를 동시에 탑재해 동력을 공급한다.

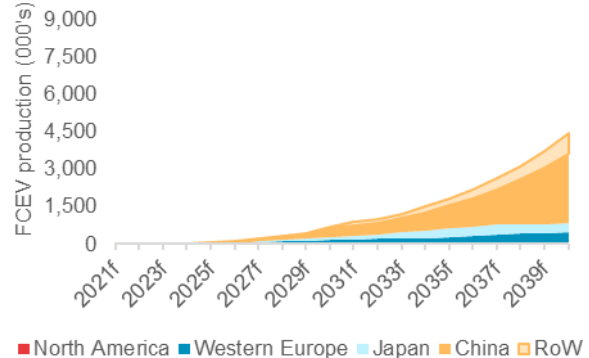
조금 더 장기적인 관점에서 본다면 중량 FCEV의 보급이 가속화되면서 경차 시장의 수요를 집어삼킬 가능성도 있다. 중량 차량의 수요가 증가하는 만큼 경차의 수요가 줄어드는 것이다.

Figure 22. Policy-based LCV FCEV production is dominated by China, with other regions broadly balanced (excluding North America)



Source: WPIC Research

Figure 23. China still dominates in the commercially-enhanced LCV production scenario, but increased output assumed for other regions



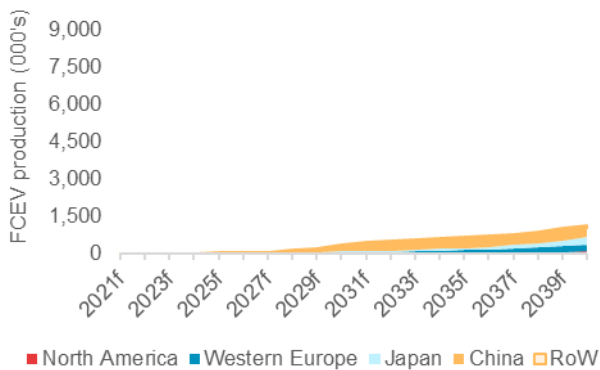
Source: WPIC Research

### 중량 FCEV 생산 시나리오

중량 FCEV와 관련된 정책 기반 시나리오는 중국에서 시작해 중국으로 끝난다고 해도 과언이 아니다. 특히 전용 충전소를 기반으로 한 버스 분야가 주목을 받게 될 것으로 보인다. 중국은 넓은 국토에 걸친 중량 차량 운송 및 유통 네트워크와 운송회랑을 뒷받침할 수 있을 정도로 광대한 충전 네트워크를 구축하겠다는 원대한 계획을 갖췄다. 다른 지역들도 잠재적인 가능성을 품고 있으나 유의미한 수준의 초기 생산이 이루어질 수 있는 것은 북미 지역을 중심으로 둔 상용화가 동반된 시나리오뿐이다.

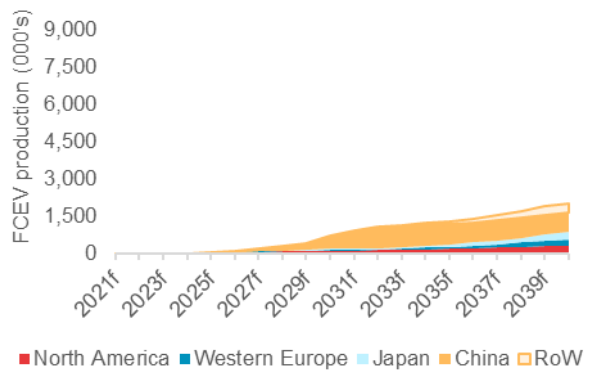
미국은 일관적인 국가 정책의 부재로 FCEV 생산 분야에서 이렇다 할 존재감을 보이지 못하고 있으나, 캘리포니아는 핵심적인 FCEV 수입 시장이 될 것으로 예상된다.

Figure 24. Policy-based HD FCEV production is dominated by China, followed by Europe and Japan



Source: WPIC Research

Figure 25. China still dominates in the commercially-enhanced HD scenario but output from RoW kicks up considerably as does production in North America



Source: WPIC Research

### 보수적으로 낮은 수준에 머무르는 FCEV 보급률

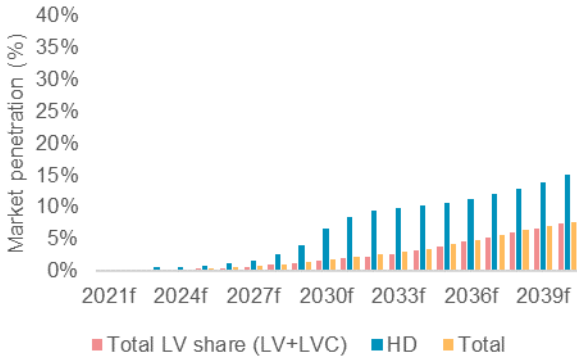
성장률은 두 시나리오 모두 비슷한 모습을 보인다. 시작 지점이 매우 낮은 수준이기는 했지만 2030년까지의 연평균 성장률은 50%를 조금 넘는 수준을 유지할 수 있을 것으로 예상되며, 그 이후에는 20%를 밑도는 수준까지 떨어질 전망이다. FCEV의 2030년 시장침투율은 경차와 경상용차를 합쳐 2%라는 상대적으로 낮은 수준이며 그로부터 10년 뒤에는 8%까지 상승할 것으로 예상된다. 폭넓은 상용화를 동반한 시나리오의 경우에는 3%에서 11%까지 상승할 전망이다. 일견 높은 듯한 성장률이지만, 지난 10년 동안 BEV가 보인 양상과 큰 차이가 없다.

FCEV의 연평균 성장률은 BEV가 지난 10년간 보인 것과 유사할 것으로 예상된다.

섹터별 세부사항을 살펴보면 중량 차량이 절대적인 수는 적지만 훨씬 높은 시장침투율을 보인다는 것을 알 수 있다. 정책 위주의 시나리오를 기준으로 했을 때 중량 차량의 2030년 시장침투율은 8%로, 10년 뒤에는 15%를 돌파한다. 상용화 동반 시나리오의 경우에는 2040년에 40%에 육박하는 시장침투율을 보일 전망이다. 우리는 FCEV가 다른 구동력 기술의 전개에 따라 개별 시장에서 포화점을 맞이하게 될 것이며, 지역별 FCEV와 수소 충전소의 보급 시기에 따른 계단형 생산 프로파일을 보일 것이라고 예상한다.

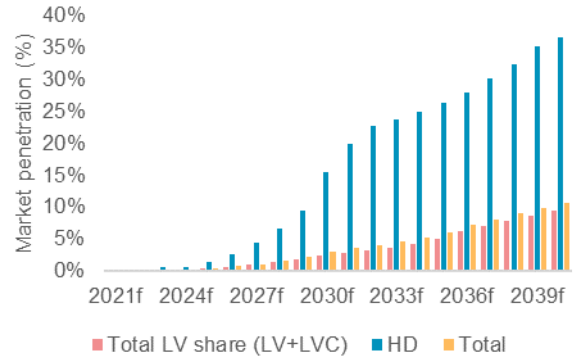
경차와 경상용차의 시장침투율은 상대적으로 낮은 수준에 머무를 것으로 예상되나, 중량 차량의 침투율은 최대 40%까지도 기대할 수 있을 것이다.

Figure 26. HD FCEV market penetration reaches around 15% under the policy-driven scenario...



Source: WPIC Research

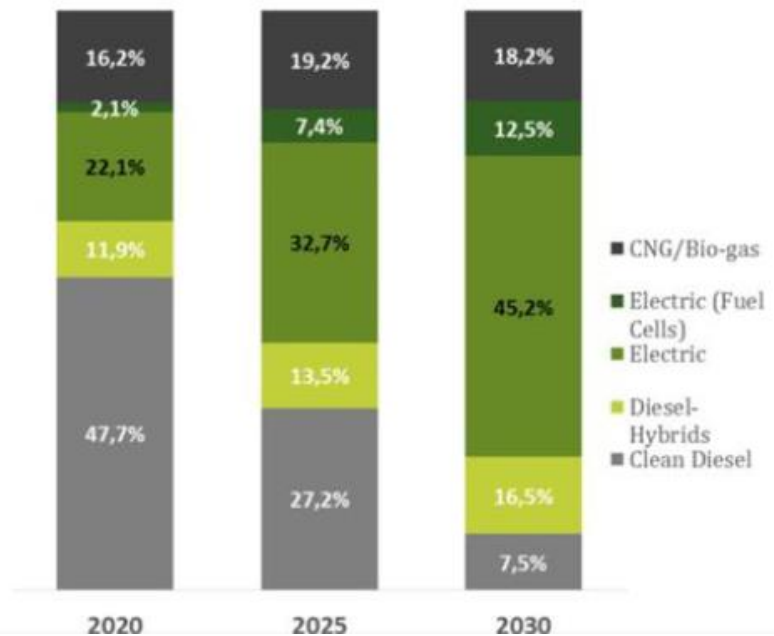
Figure 27. ...but reaches almost 40% under the commercially-enhanced scenario, in contrast to more muted upside in LV and LCV FCEVs



Source: WPIC Research

유럽 최대의 버스 생산업체 중 하나인 솔라리스(Solaris)는 2030년이 되면 FCEV 버스가 전체 도시버스의 12.5%를 차지하게 될 것이라는 예상을 내놓았다. 우리가 제시한 시장침투율 예측과 유사한 맥락이다.

Figure 28. Solaris Bus and Coach expects FCEVs to make up 12.5% of the European bus fleet by 2030



Source: Solaris Bus and Coach, IDTechEX

## FCEV 수요 전망 세우기

### 출력과 백금 함유량

FCEV 관련 백금 수요 예상에서 차량 생산량 다음으로 중요한 요소는 연료전지의 출력과 백금 함유량이다. 중량 차량은 높은 공간활용률을 갖춰야 하는 만큼 연료에 포함된 불순물 등이 촉매독으로 작용할 가능성이 높으며, 그에 따라 백금 함유량도 경차나 경상용차보다 높은 것이 일반적이다. 현재 백금 함유량은 중량 차량이 kW 당 0.53g, 그리고 경상용차와 경차가 kW 당 0.18g 과 0.13g 수준일 것으로 추정된다.

촉매변환기와 마찬가지로 PEM 연료전지의 백금 함유량을 낮추려는 노력도 꾸준히 이어지고 있다. 미국 에너지부가 제시한 목표치는 2030년 기준 kW 당 0.10g 으로, 충분히 달성 가능할 것으로 예상된다. 경차의 백금 함유량은 2030년을 기준으로 kW 당 평균 0.10g 을, 2040년에는 0.08g 을 기록할 것으로 보이며, 중량 차량은 같은 기간 kW 당 평균 0.25g 까지 함유량을 낮출 수 있을 전망이다.

### 배터리 용량과의 균형

이미 언급했다시피, FCEV 는 연료전지와 보조용 배터리를 함께 활용한다. 연료전지가 공급하는 동력이 ICE 에 비해 낮은 경우가 흔히 발생한다는 의미다. 전동기는 첨두부하 시점에 연료전지와 배터리 양쪽 모두에서 동력을 얻으며, 연료전지는 요구 전력이 낮을 때 모터에 동력을 공급하는 동시에 배터리를 충전하게 되기 때문이다.

연료전지와 배터리의 크기는 한 쪽이 커지면 다른 쪽이 작아지는 소위 트레이드오프 관계에 있다. 일정부하형 차량의 연료전지는 전동기의 필요 동력을 거의 모두 공급할 수 있는 크기가 될 것이며, 보조 배터리의 크기는 상대적으로 작아지게 된다. 그 반대의 경우에는 소형 연료전지가 주행거리 연장장치(Range Extender)의 역할을 하는 사실상 BEV 에 가까운 차량이 될 것이다. 후자의 예시로는 30kW 규격의 연료전지와 대형 배터리팩을 탑재한 중국 버스가 있다. 반면 유럽의 단층버스는 70-100kW 용량의 연료전지와 30-45kWh 의 배터리를 탑재한 것이 일반적이다. 유럽에서 흔히 볼 수 있는 단층 디젤버스의 출력은 220-260kW 로, 이 출력 차이에는 전동기의 순간 토크가 반영되어 있다.

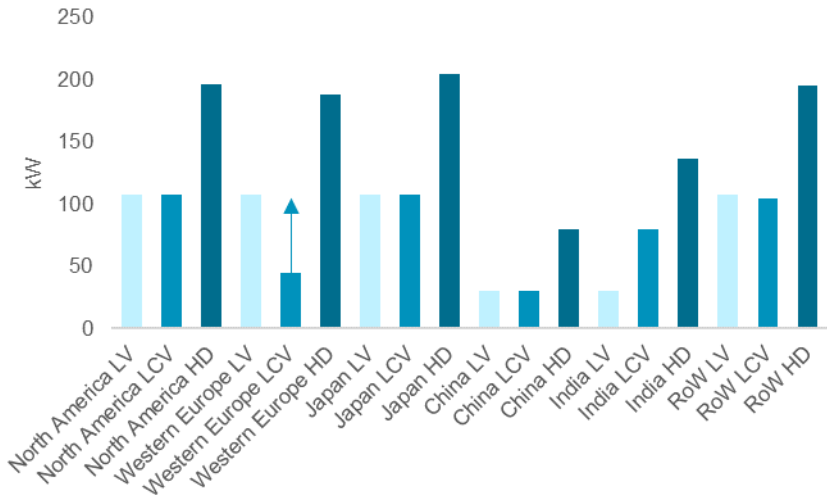
형식에 따른 선호도는 일정 수준 지역적인 영향을 받아 전반적으로 기존 ICE 차량의 출력 차이와 비슷한 양상을 보일 것으로 예상된다. 중국 차량의 배기량이 미국에 비해 낮은 수준인 것과 유사하다. 또한 일부 지역에서는 연료전지가 점점 커지는 현상이 나타날 것으로 보인다. 소형 연료전지와 대형 배터리의 조합이 대형 연료전지와 소형 배터리로 변화해가는 것이다. 유럽과 같은 지역에서 이런 현상이 일어나는 것은 자동차 업체의 판매 패키지의 변화가 반영된 것이라고 볼 수 있다. 스텔란티스가 현재 경상용차에 사용하는 것은 45kW 규격의 심비오(Symbio) 연료전지다. 심비오는 근시일 안에 대용량 연료전지 출시를 계획하고 있으며, 이에 맞춰 시스템의 균형을 바꾸면 보다 큰 적재량을 확보할 수 있을 것이다. 수소 충전소가 많지 않은 지금과 같은 환경에서는 배터리를 우선시하고 연료전지를 주행거리 연장장치로 활용하며 기회가 닿을 때, 즉 수소 충전소를 지나칠 때 연료전지를 충전하는 것이 유리하다. 하지만 수소 충전소의 접근성이 개선된다면 이런 방식에도 변화가 생길 것이다.

*연료전지의 백금 함유량은 차량 주행거리 기대치와 백금 촉매를 오염시킬 수 있는 수소의 청정도에 대한 신뢰가 개선될수록 점차 줄어들게 될 것이다.*

*연료전지의 동력용량은 점차 늘어날 것이며, 중량 차량과 경상용차에서 특히 두드러지는 변화가 보일 것으로 예상된다.*

*연료전지의 출력과 배터리 용량의 균형에는 지역적인 차이가 있다.*

Figure 29. FCEV – Estimated regional average power per vehicle by category



연료전지의 출력과 배터리 용량의 균형에는 지역적인 차이가 있다.

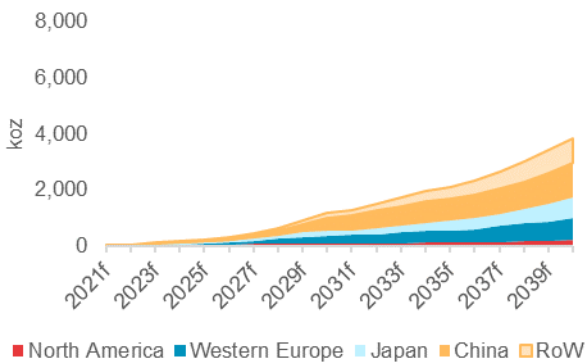
Source: WPIC Research

### FCEV 관련 예상 백금 수요

FCEV 생산 전망과 연료전지의 출력, 그리고 백금 함유량을 함께 고려하면 다음과 같은 백금 수요 전망을 얻을 수 있다. FCEV의 초기 수요는 두 시나리오 모두 미미한 수준으로, 수요가 실질적으로 증가하는 것은 한국의 대형 연료전지 생산 설비가 완공되는 2024년의 일이다. 그 이후로는 수요가 점차 유의미한 상승폭을 보이며 정책 기반 시나리오를 기준으로 2030년에 연간 1 Moz를, 2040년에는 약 4 Moz를 달성할 수 있을 것으로 기대된다. 폭넓은 상용화가 동반될 경우, 초반에는 비슷한 전개를 보이겠지만 곧 차이가 벌어지면서 2028년에 1.3 Moz, 2040년에 약 6.7 Moz의 수요가 발생할 전망이다.

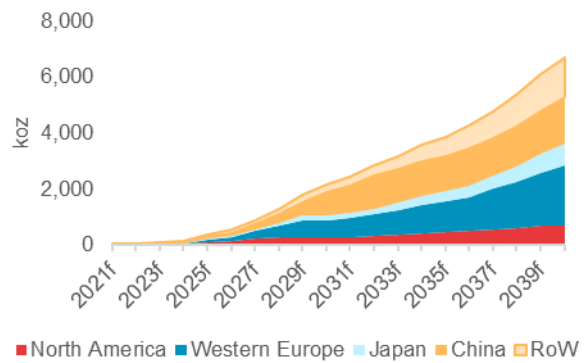
FCEV 관련 백금 수요는 정책 기반 시나리오를 기준으로 2030년에 연간 1 Moz를 달성할 수 있을 것으로 예상된다. 현재 백금 채광량은 최대 6.1 Moz에 달한다.

Figure 30. FCEV demand for platinum reaches more than 1Moz by 2030 in the policy driven scenario, and almost 4Moz by 2040



Source: WPIC Research

Figure 31. The relatively greater market penetration of HD FCEVs in the commercially enhanced scenario boosts platinum demand due to higher HD loadings

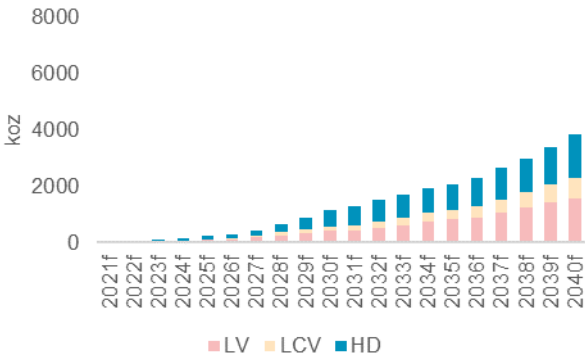


Source: WPIC Research

차종에 따른 수요 차이라는 관점에서 보았을 때, 정책 기반 시나리오 하에서 경차와 경상용차의 수요와 중량 차량의 수요는 비등한 수준일 것으로 예상된다. 상용화가 동반되었을 경우에는 중량 차량의 상대적으로 높은 시장침투율과 백금 함유량의 영향으로 경차와 경상용차를 크게 앞서는 수요가 발생할 전망이다.

하지만 상술한 것과 같이 연료전지는 플랫폼이나 차종 사이에서의 호환이 가능한 유연성을 갖추고 있으며, 그 영향으로 부문별 균형 차이가 날 수는 있으나 전체적인 연료전지 생산과 백금 수요 전망은 충분히 신뢰할 만하다.

Figure 32. FCEV demand for platinum reaches is more than 1Moz by 2030 in the policy driven scenario, and almost 4Moz by 2040



Source: WPIC Research

## ICE 대비 FCEV 전망

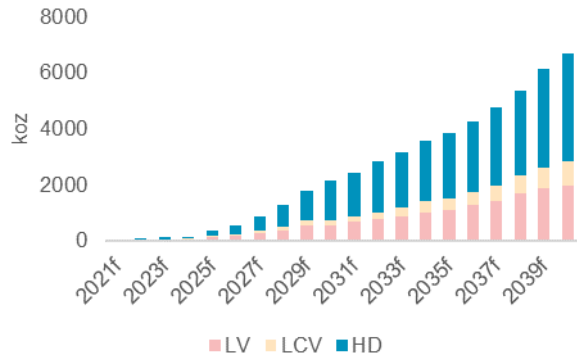
2022년 상반기의 자동차 산업, 다시 말해 촉매변환기 생산에서 발생한 백금 수요는 3,129 koz(1,000 온스)를 기록할 전망이다.

FCEV 부문의 연간 백금 수요가 이 수치를 넘어서는 것은 정책 기반 시나리오를 기준으로 2039년의 일이다. ICE의 시대가 끝을 맞이할 것이라는 주장이 제시되고는 있으나, 그리드나 경제적인 상황을 고려했을 때 이는 현실적이지 못하다. ICE 차량은 엄격한 배기가스 규제와 함께 앞으로도 오랜 기간 동안 자동차 산업에서 중요한 위치를 지킬 것이다. 하지만 정책 기반 시나리오조차 FCEV의 백금 수요가 현시점의 자동차 관련 수요를 넘어설 것이라는 전망을 제시했으며, 이 물량이 ICE의 장래 수요에 더해질 것이라는 점에는 변함이 없다. (그 영향에 대해서는 이후 "플라티넘 에센셜"에서 수량화할 예정이다.)

정책 도입에 상용화가 동반된다면 FCEV의 백금 수요는 2033년 안으로 2022년 상반기의 자동차 부문 백금 수요를 따라잡을 수 있다. 이 경우의 백금 수요 상승폭은 상당한 수준으로, 총 수요가 공급 성장과 비등한 수준에 도달하게 될 가능성이 높다. 광산업체들은 10년 뒤의 수요를 만족시키면서도 적절한 투자 결정을 내릴 수 있도록 신중한 계획을 세워야 할 것이다. 장신구나 산업 관련 수요를 일부 잠식하거나 우리의 예상 이상으로 연료전지의 촉매 함유량을 줄여야 할 필요가 생길 수도 있다. 또한 이 보고서는 FCEV 수요 성장만을 분석한 것으로, 그린 수소 생산에 쓰이는 PEM 수전해 설비의 보급이나 그와 관련된 백금 수요, 철도 내지는 해운 분야에서 쓰이는 연료전지, 그리고 고정형 연료전지에서 발생할 수 있는 수요에 대해서는 다루지 않았다.

차량 섹터 간의 수요 균형에는 차이가 있을 수 있으나, 연료전지 생산 전망 자체의 신뢰도는 높다.

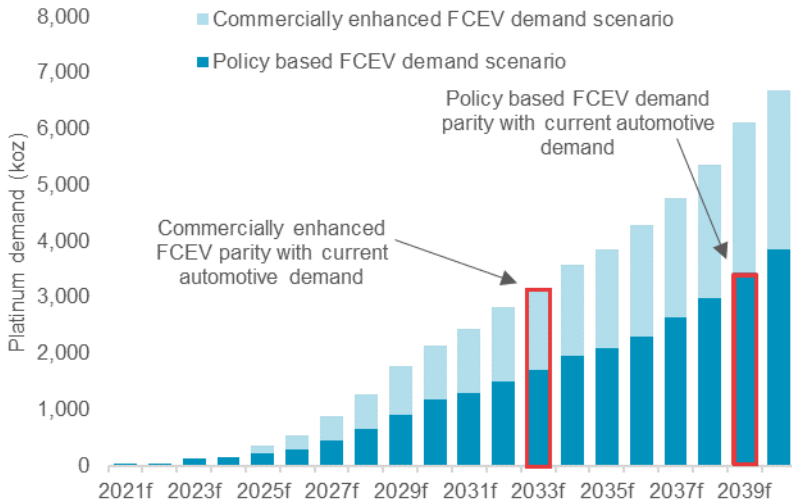
Figure 33. The relatively greater market penetration of HD FCEVs in the commercially enhanced scenario boosts platinum demand due to higher HD loadings



Source: WPIC Research

FCEV 관련 백금 수요는 이르면 2033년에 현재 자동차 부문에서 발생하는 수요를 따라잡을 수 있다.

Figure 34. FCEV demand for platinum



Source: WPI Research

## 결론

현실에서 벌어지고 있는 것은 BEV와 FCEV의 경쟁이 아니다. 탈탄소화는 한 종류의 기술만으로는 이룰 수 없으며 온갖 저탄소 기술을 함께 동원해야 달성할 수 있는 목표다. 미래가 완전히 낯선 모습으로 변하는 일은 일어나지 않는다. 소비자들은 우리가 생활 방식이나 공간 활용 등의 이유로 가솔린이나 디젤 차량을 선택했던 것처럼 각기 다른 이유로 BEV나 FCEV를 선택할 것이다.

*BEV와 FCEV는 운송 수단의 탈탄소화에서 각각 수행해야 할 역할이 있다.*

두 시나리오 중 어느 쪽이 전개된다고 해도 현재 FCEV의 잠재적 백금 수요는 미미한 수준에 불과하며, 2020년 후반부터 존재감을 드러내고 가파르게 가속화되는 모습을 보일 것이다. 이 보고서에서 다룬 백금 수요 성장에는 그린 수소를 생산하는 PEM 수전해 설비나 건설 혹은 철도, 해운 분야에서 쓰이는 연료전지, 그리고 고정형 연료전지에서 발생할 수 있는 상당 수준의 수요가 포함되지 않았다는 것을 거듭 강조한다. 연료전지 자동차의 수는 아직 적지만 예상되는 시장침투율과 규모는 BEV가 2012년 이후부터 지금까지 보인 전적, 그리고 2030년까지의 전망과 흡사하다. 여기에 제시된 전망도 그만큼 타당하다고 볼 수 있을 것이다. 우리가 이 보고서에서 다루지 않은 요소로는 FCEV의 백금 수요 성장과 ICE 수요 전망 사이의 상호 작용이 있다. 백금의 수요라는 측면에서 보았을 때 ICE는 2030년대에도 자동차 산업에서 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다. 사용량 감소는 엄격한 배기가스 규제와 그로 인한 백금 함유량 증가, 그리고 팔라듐을 백금으로 대체하려는 노력으로 완전히 상쇄되는 수준에 그칠 것이다. ICE 차량의 배기가스 절감에 필요한 백금과 300만 온스에 달하는 FCEV 관련 수요가 더해진다면 백금 공급이 늘어나지 않는 한 FCEV 산업의 성장률에 타격을 입힐 정도의 품귀 현상이 일어나게 될 가능성도 있다. 향후 10년간 BEV가 배터리 원료 공급난에 시달릴 수 있는 것과 마찬가지로, 하지만 현재 파악된 백금 재고와 자원은 시간만 주어진다면 수요 상승을 충분히 만족시킬 수 있을 수준이다. 백금 공급 부족은 백금족 금속 가격 상승과 2022년 상반기 6.1 Moz에 그쳤던 채광량 증가로 이어질 것이다. 수소 친화적 정책과 재정적 지원이 확대되기까지 한다면 더욱 강한 성장세를 기대할 수도 있다. 또한 광범위한 탈탄소화 기술 보급에도 보탬이 될 것이다.

*FCEV 관련 백금 수요는 현재 변환촉매제에서 발생하는 수요를 추월하고, 11년 안에 연간 300만 온스의 백금 수요를 추가할 수 있을 것이다.*

## WPIC 는 백금 투자 시장의 발전을 위해 설립되었습니다

World Platinum Investment Council(WPIC: 세계백금투자협회)은 2014년, 백금투자시장의 발전을 목표로 남아프리카의 백금족 금속 광산업체들에 의해 설립되었습니다. WPIC 은 실행 가능한 통찰과 선정된 목표 달성을 위한 노력을 기울이고 있으며, 투자자들이 사실에 기반한 판단을 내릴 수 있도록 *플라티넘 퀴털리*와 월간 *플라티넘 퍼스펙티브*, *플라티넘 에센셜* 등을 통해 정보를 제공합니다. 또한 투자자와 상품, 투자 경로, 그리고 지역적 특성에 따라 투자 가치사슬을 분석하고 시장 효율성을 강화하며 모든 투자자들에게 비용 효율이 높은 다양한 상품을 제공하기 위해 파트너 업체와 협력하고 있습니다.



**IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER:** 이 문서는 교육을 목적으로 한 일반간행물입니다. 발행처인 WPIC 은 세계 유수의 백금 생산업체들이 백금 투자 수요에 걸맞은 시장을 형성하기 위해 설립한 단체입니다. WPIC 의 사명은 실행 가능한 통찰과 타겟화된 개발을 통해 투자자들의 백금 현물 수요를 자극하는 것과 투자자들이 사실에 근거한 결정을 내릴 수 있도록 백금에 대한 정보를 제공하는 것, 그리고 금융기관과 시장 참여자들과 협력해 투자자들이 필요로 하는 상품과 투자 경로를 개발하는 것입니다.

이 간행물은 증권 판매를 제안하거나 매수를 권유하는 것이 아니며 그렇게 해석되어서도 안 됩니다. 발행처는 이 간행물에 언급된 증권 혹은 상품과 연관된 그 어떤 종류의 거래도 권유 혹은 주선할 의도가 없으며, 그에 관련된 충고를 제시하거나 거래를 대리하지도, 유도하지도 않습니다. 이 간행물은 세금이나 법률, 또는 투자에 관련된 조언을 제공하기 위한 것이 아니고 투자 혹은 증권의 매도와 매수, 또는 보유를 추천하거나 투자 전략 혹은 거래에 나서기를 권고하는 것으로 해석해서는 안 됩니다. 발행처는 증권 중개인이나 독립투자자문업자(RIA)가 아니며 미국법이나 영국 금융서비스 시장법(Financial Services and Markets Act 2000), 고위 경영진 인증제도(SMCR, Senior Managers and Certifications Regime), 또는 영국 금융감독원(FCA, Financial Conduct Authority)에 등록되어 있지 않습니다.

이 간행물은 특정 투자자를 대상으로 하거나 투자자 개인에게 맞춰진 투자 조언이 아니며 그렇게 받아들여져도 안 됩니다. 투자 결정을 내리기 전에는 반드시 적절한 전문가의 조언을 받으셔야 합니다. 투자나 투자 전략, 증권, 또는 관련 거래가 투자 목적과 재정상태, 그리고 투자위험감수도에 적절한지에 대한 판단의 책임은 본인에게 있습니다. 특정 사업이나 법적 상황, 그리고 세금과 관련된 사정에 대해서는 투자와 법률, 세무, 또는 회계 전문가와 상담하셔야 합니다.

이 간행물은 신뢰할 수 있는 것으로 간주되는 정보에 기반해 작성되었습니다. 하지만 정보의 정확도나 완전성을 보장할 수 있는 것은 아닙니다. 이 간행물에는 지속적인 산업 성장 예상을 포함한 미래 상황 예측이 포함되어 있습니다. 발행처는 이 간행물에 과거의 사실이 아닌 미래 예측성 발언이 포함되어 있으며, 실제 결과에 영향을 미칠 수 있는 위험 요인과 불확실성이 포함되어 있다는 사실을 인지하고 있습니다. WPIC 의 로고와 서비스 마크, 소유권은 전적으로 WPIC 에 있습니다. 그 이외의 상표의 소유권은 각각의 상표권자에게 있습니다. 특별한 언급이 있는 경우를 제외하고 발행처는 각각의 상표권자에 소속 혹은 연계되거나 관련되어 있지 않으며 후원 또는 승인을 받거나 기반을 두지 않습니다. WPIC 은 제 3 자의 상표에 대한 어떤 권리도 주장하지 않습니다.

#### WPIC Research MiFID II Status

The World Platinum Investment Council (WPIC)은 제 2 차 금융상품투자지침(MiFID II) 규정에 따라 콘텐츠와 서비스에 대한 내외부의 검토를 거쳤습니다. 그 결과에 따라 WPIC 리서치 서비스 이용자와 회계감사/법무부에게 다음과 같은 사항을 강조하고자 합니다:

WPIC 의 리서치는 명백히 소규모 비금전적 혜택 범주(Minor Non-Monetary Benefit Category)에 포함되며 모든 자산운용자들은 이를 무료로 활용할 수 있습니다. 투자기관들은 WPIC 리서치를 자유롭게 공유할 수 있습니다.

1. WPIC 은 금융상품 관련 사업을 운용하지 않습니다. 시장 조성이나 세일즈 트레이드, 트레이딩, 혹은 주식 거래에도 참여하지 않습니다. (어떠한 종류의 유인책이나 권유도 제공하지 않습니다).
2. WPIC 의 콘텐츠는 다양한 경로를 통해 모든 이해관계자들에게 보급되며, MiFID II (ESMA/FCA/AMF) 규정에 따라 "소규모 비금전적 혜택 범주"로 분류될 조건을 만족합니다. WPIC 의 리서치 결과는 WPIC 홈페이지를 통해 무료로 제공됩니다. WPIC 은 리서치 통합 플랫폼에 그 어떤 허가요건도 요구하지 않습니다.
3. WPIC 은 소비자들에게 리서치 서비스에 대한 대가를 요구하지 않으며 앞으로도 요구하지 않을 것입니다. WPIC 은 기관 투자자들에게 무료로 자유롭게 이용 가능한 콘텐츠에 대한 대가를 요구하지 않는다는 점을 명백히 밝힙니다.

보다 자세한 정보는 WPIC 홈페이지에서 확인할 수 있습니다:

<http://www.platinuminvestment.com/investment-research/mifid-ii>