

VOLTACERA White Paper Series

## Chapter 1

### SOFC-BTM 시장의 전환점:

# 왜 Behind-the-Meter(BTM) 전원이 에너지 판도를 재편하는가

Voltacera Research | 2026년 4월

# VoltaCera

## 요약 (Executive Summary)

인공지능(AI) 인프라의 폭발적 확장과 만성적인 전력망 혼잡이 맞물리면서, 대형 전력 소비자—특히 데이터센터 사업자—가 전력을 조달하는 방식에 구조적 변화가 나타나고 있습니다. 한동안 프리미엄 청정에너지 틈새 시장으로 여겨졌던 고체산화물 연료전지(SOFC)는, 이제 기가와트(GW) 규모의 베이스로드 전력을 수 주 내에 공급할 수 있는 대표적인 Behind-the-Meter(BTM) 기술로 부상했습니다.

본 챕터에서는 현재 진행 중인 시장 전환(inflection)의 양상을 정리하고, 그 수요 신호를 정량적으로 제시하며, SOFC를 경쟁 BTM 기술과 비교·평가합니다.

주요 내용은 다음과 같습니다.

- 2030년까지 BTM 솔루션은 데이터센터의 추가 전력 수요 20–25 GW를 담당할 것으로 예상되며, 이는 총 50–100조 원 규모의 프로젝트 투자에 해당합니다.<sup>[3]</sup> 글로벌 BTM 시장은 2025년 약 9–10조 원에서 2034년 400조 원 이상으로 성장할 것으로 전망되며, 연평균 성장률은 18–20% 수준입니다.<sup>[13]</sup>
- 글로벌 SOFC 시장은 2024년 약 3.5조 원으로 평가되며, 2033년까지 50조 원을 상회할 것으로 예상되어 연평균 30%를 웃도는 성장이 전망됩니다.<sup>[12]</sup>
- Bloom Energy는 2025년 매출 2.73조 원을 기록하며 전년 대비 37.3% 성장했는데, 이는 주로 SOFC-BTM 계약에 의해 견인된 결과입니다.<sup>[11]</sup>
- 2025년 10월부터 2026년 1월까지 불과 90일 동안 10.3조 원 규모의 SOFC 확정 계약이 체결되었습니다.<sup>[4]</sup>

- SOFC는 50–60% 수준의 전기 효율, 사실상 제로에 가까운 NOx/SOx 배출, 높은 연료 유연성, 90 일 수준의 빠른 배치 속도라는 구조적 장점을 바탕으로, 향후 10 년간 BTM 시장의 핵심 기술로 자리매김하고 있습니다.<sup>[3,6,11]</sup>

## 1. 서론: 새로운 전력 패러다임

글로벌 에너지 지형은 근본적인 패러다임 전환을 겪고 있습니다. 전통적인 중앙집중식 전력망은 인공지능(AI), 대규모 데이터센터, 산업 공정의 전기화로 인해 폭발적으로 증가하는 전력 수요를 감당하는 데 점점 더 어려움을 겪고 있습니다.<sup>[14]</sup>

기존 전력 시스템에서는 전기가 대형 중앙 발전소에서 고압 송전망을 거쳐 최종 수요처로 단방향으로 흐르는 구조였습니다. 전력회사는 예측 가능한 부하 증가를 전제로 설비를 증설했고, 산업 고객들은 전력망이 항상 가용하다는 전제하에 설비를 계획했습니다. 그러나 이 패러다임은 지금 점진적으로가 아니라 급격하게 붕괴되고 있습니다.

미국의 경우, 2024년부터 2030년 사이 데이터센터만으로 약 55 GW의 신규 전력 수요가 추가될 것으로 예상됩니다.<sup>[14]</sup> 버지니아 북부(Northern Virginia)와 같은 주요 데이터센터 허브에서는 신규 계통 연계 신청이 수년 단위의 대기 기간을 요구하고 있으며, 일부 지역에서는 3–5년을 넘기는 사례도 발생하고 있습니다.<sup>[5]</sup> 물리학적 관점에서, 현재의 전력망은 AI 산업이 요구하는 속도로 확장되기 어렵다는 점이 분명해지고 있습니다.

이 병목을 직접적으로 해결하는 것이 바로 Behind-the-Meter(BTM) 발전입니다. BTM 발전은 전원 설비를 유틸리티 계량기 '이후(behind)'—즉 고객 측—에 위치시켜, 송전 혼잡을 우회하고, 긴 계통 연계 절차를 피하며, 전력 품질·유연성·비용을 고객이 직접 통제할 수 있게 합니다.<sup>[5]</sup> 이러한 맥락에서 BTM 발전은 단순한 대안이 아니라 전략적 필수 수단으로 부상했습니다. 현재 사용 가능한 BTM 기술 포트폴리오(가스터빈, 왕복동 내연기관, 배터리 저장장치, 연료전지) 가운데,

Voltacera White Paper Series | © 2026 Voltacera Inc.

SOFC는 연속 운전이 필요한 상시 전력 수요(Mission-critical baseload) 용도에서 가장 선호되는 선택지로 떠오르고 있습니다.<sup>[6,9]</sup>

본 백서 챕터는 SOFC-BTM 시장을 움직이는 구조적 요인, 이미 집행된 자본의 규모, 향후 10년간 기술 승자를 좌우할 경쟁 구도를 분석합니다.

## 2. Behind-the-Meter 전원: 개념과 맥락

### 2.1 정의와 범위

BTM 발전은 고객 사업장 내에 설치되어 생산된 전력을 유틸리티의 송배전망을 거치지 않고 직접 자가소비하는 모든 전원 설비를 의미합니다. 고객 관점에서 BTM 전력은 순수전력 사용량(net load)을 줄이는 방식으로 계량기에 반영되며, 전통적인 FTM 발전과 달리 소비지역 바로 옆에서 전력을 생산하는 구조입니다.<sup>[5]</sup>

BTM 자산의 범위는 지붕형 태양광, 온사이트 배터리 저장장치, 디젤 발전기, 그리고 최근 빠르게 확산되고 있는 수십~수백 MW급 연료전지 시스템까지 모두 포함됩니다.<sup>[5,6]</sup> 이 때문에 BTM 설비는 단순한 "발전기"를 넘어, 에너지 비용 관리, 수요반응, 전원 레질리언스, 기업 ESG 전략을 위한 통합 도구로 인식되고 있습니다. 핵심 특징은 부하 수요처 인근 설치(co-location)이며, 이는 다음과 같은 구조적 이점을 제공합니다.

- 미국 기준 평균 5-8% 수준인 송·배전 손실을 제거하여 전체 에너지 경제성을 개선한다.
- 민감한 컴퓨팅 데이터 처리작업을 중단시킬 수 있는 계통의 정전·전압 변동으로부터 자유로워, 99.99%(four-nines)에 이르는 전원 가용성을 달성할 수 있다.<sup>[11]</sup>
- 일부 지역에서 5년을 넘기기도 하는 계통 연계 대기열을 회피하여, 수개월 단위로 빠른 프로젝트 구현이 가능하다.<sup>[5]</sup>

- 수요요금(demand charge)과 시간대별 요금제(time-of-use tariff)를 줄여 장기 총소유비용(TCO)을 개선할 수 있다.
- 미션 크리티컬 시설에 에너지 안보와 운영 독립성을 제공한다.
- 고효율 발전, 연료 전환, 재생에너지 연계 등을 통해 탄소 배출을 구조적으로 낮출 수 있는 플랫폼 역할을 한다.

## 2.2 왜 지금인가?: AI 가 만든 수요 쇼크

지난 10여 년 동안 전력 시스템의 주요 화두는 재생에너지 보급 확대였습니다. 태양광과 풍력이 빠르게 증가하면서 계통 공급 측 변동성이 커졌고, 이에 따라 피크 요금과 네트워크 혼잡도 역시 상승했습니다. 여기에 AI, 클라우드 컴퓨팅, 반도체 제조의 폭발적 성장이 겹치면서, 전통적인 수요 예측을 훨씬 상회하는 속도로 전력이 소비되고 있습니다.<sup>[14]</sup>

AI 모델 학습과 추론 워크로드는 기존 클라우드 컴퓨팅 대비 훨씬 높은 전력 밀도를 요구합니다. 차세대 AI 가속기 랙 한 개가 기존 서버 랙(5-15 kW)과 달리 100 kW 이상을 소모하는 경우가 흔해지고 있으며, GPU 세대가 바뀔 때마다 밀도는 더 높아지고 있습니다.<sup>[6]</sup> 일부 데이터센터 캠퍼스는 단일 부지에서 수백 MW 수준의 전력을 요구하기도 합니다. 이와 같은 단계적(step-change) 수요 증가는 현재의 전력망 설계에 내재된 가정을 완전히 뒤흔들었습니다.

골드만삭스 리서치에 따르면, 2024-2030년 사이 데이터센터에서 발생하는 추가 전력 수요는 약 730 TWh에 달할 것으로 추산됩니다. 이 가운데 4분의 1에서 3분의 1만 BTM 솔루션으로 충당된다고 가정해도, 새로 더해야 할 분산전원 용량은 20-25 GW에 이릅니다.<sup>[3]</sup> 한 시장조사 기관은 글로벌 BTM 시장이 2025년 약 9-10조 원에서 2034년 390조 원을 상회하는 수준으로 성장하며, 연평균 18-20%의 성장을 기록할 것이라고 전망합니다.<sup>[13]</sup>

## 2.3 BTM의 주요 적용 분야

데이터센터는 BTM 시장에서 가장 눈에 띄고 빠르게 성장하는 영역이지만, 동일한 구조적 논리는 다른 고신뢰·전력 민감형 산업에도 그대로 적용됩니다.

- 데이터센터 및 AI 컴퓨팅 시설: 24/7 상시전력이 필요하며, 단 한 번의 전원 장애도 허용하기 어렵다.
- 반도체 팹: 전압·주파수 안정성이 극도로 중요하며, 짧은 순간의 정전도 전체 공정 로트를 폐기시키는 막대한 손실로 이어질 수 있다.
- 병원 및 헬스케어 시설: 환자 생명과 직결된 설비가 많아 전력 공급의 연속성이 절대적이다.
- 통신 허브 및 금융 데이터센터: 통신·거래 시스템 특성상 서비스 중단이 사실상 허용되지 않는다.
- 첨단 제조 및 산업 플랜트: 에너지 비용이 경쟁력의 핵심 요소이며, 공정열과의 통합(열병합)이 큰 부가가치를 제공한다.

## 3. SOFC 기술: BTM 시장을 움직이는 엔진

### 3.1 작동 원리

고체산화물 연료전지(SOFC)는 연소가 아니라 전기화학 반응을 통해 전기를 생산합니다. 연료(주로 천연가스, 바이오가스, 수소 등)는 연료극(Anode)에서 개질(reforming)되고, 공기극(Cathode)에서 공급된 산소 이온( $O^{2-}$ )이 고체 세라믹 전해질을 통과해 연료극 측 연료와 반응합니다. 이 과정에서 전류, 열, 물, 이산화탄소가 생성되지만, 화염 연소 온도에 도달하지 않기 때문에  $NO_x$ ,  $SO_x$ , 미세먼지 등의 생성은 사실상 없습니다.<sup>[15]</sup>

SOFC는 일반적으로 600–1,000°C 범위의 고온에서 작동합니다. 이 고온 특성은 설계 제약인 동

시에 전략적 장점으로, 외부 개질기 없이도 탄화수소 연료를 내부 개질로 처리할 수 있게 하고, 열병합발전(CHP)을 위한 폐열 회수와 고효율 전력 생산을 가능하게 합니다.<sup>[7,11]</sup> 또한 인버터 기반 전력변환을 통해 출력 전압·주파수·고조파 특성을 정밀하게 제어할 수 있어, 외부 계통의 섭동으로부터 민감한 부하를 보호하는 역할도 합니다.<sup>[10]</sup>

### 3.2 효율과 배출 특성

전기 효율 측면에서, 최신 6세대 SOFC 시스템은 천연가스 기준 약 60% 수준의 전기 효율을 달성하고 있으며, 이는 단순 사이클 가스터빈 대비 10~30%포인트 높은 수치입니다.<sup>[11]</sup> 폐열을 회수해 열병합(CHP)으로 활용할 경우 시스템 총 효율은 90%를 넘어설 수 있으며, 데이터센터의 경우 이 열을 흡수식 냉동기 구동에 이용함으로써 시설의 PUE를 10~15% 개선할 수 있습니다.<sup>[10]</sup> 연료 재순환, 하이브리드 구성, 열 통합 설계를 적용한 연구에서는 전기 효율이 60%를 상회하는 사례도 제시되고 있습니다.<sup>[15]</sup>

배출 측면에서도 차별성이 뚜렷합니다. SOFC는 화염 연소 없이 작동하기 때문에 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 배출이 사실상 발생하지 않습니다.<sup>[10]</sup> 천연가스 사용 시 CO<sub>2</sub>는 배출되지만, 높은 효율 덕분에 동일 연료를 사용하는 가스터빈 대비 MWh당 CO<sub>2</sub> 배출량이 20~35% 낮습니다. 같은 연료를 가스 엔진이나 가스터빈에서 소모하는 경우와 비교하면 SOFC는 약 15~30% 수준의 CO<sub>2</sub> 저감 효과를 제공합니다.<sup>[7]</sup> 더불어 SOFC는 본질적으로 연료 유연성이 뛰어나, 오늘은 파이프라인 천연가스를 사용하더라도 향후 수소 혼합 또는 100% 녹색 수소로 점진적으로 전환할 수 있어 자산 좌초 위험 없이 현실적인 탈탄소 경로를 제시합니다.<sup>[6,7]</sup>

### 3.3 배치 특성과 생산 속도

프로젝트 개발 관점에서 SOFC 시스템은 모듈형 구조와 속도를 동시에 제공합니다. 선도 SOFC

공급사는 수 MW급 시스템을 계약 후 약 90일 이내에 납품·시운전할 수 있다고 제시하고 있는데, 이는 가스터빈이나 복합화력의 12-60개월 리드타임의 극히 일부에 불과합니다.<sup>[9]</sup> AI 인프라 경쟁이 치열한 상황에서, 전원 인프라를 수개월 앞당겨 가동할 수 있다는 점은 기술적 장점을 넘어 상업적 경쟁우위로 직결됩니다.<sup>[6]</sup>

SOFC 시스템은 또한 저소음, 저진동, 비교적 컴팩트한 설치면적을 제공하므로, 가스터빈 설치와 소음·인허가 문제로 어려운 도시·교외 환경에서도 비교적 수월하게 배치할 수 있습니다.<sup>[11]</sup> 모듈형 아키텍처 덕분에 초기에는 소규모 용량으로 시작해 수요 증가에 따라 단계적으로 증설할 수 있어, 프로젝트 초기 자본 투입도 줄일 수 있습니다.

### 3.4 연료 유연성과 수소 전환

SOFC의 가장 전략적인 특성 중 하나는 내부 개질(internal reforming) 능력입니다. SOFC의 고온 운전 조건은 천연가스, 바이오가스, 합성가스, 암모니아 등 다양한 연료를 별도의 외부 개질기 없이 셀 스택 내부에서 직접 처리하는 것을 가능하게 합니다.<sup>[7,15]</sup> 이를 통해 고객은 현재는 기존 천연가스 인프라를 활용해 경제성을 확보하면서, 향후 수소 혼합, 100% 그린 수소, 기타 저탄소 연료로 점진적으로 전환할 수 있는 옵션을 유지할 수 있습니다.

또한 발전 모드에서 사용되는 세라믹 셀과 스택 기술은, 역방향으로 운전할 경우 SOEC(Solid Oxide Electrolysis Cell) 모드에서 고온 수전해를 수행해 수소를 생산할 수 있습니다.<sup>[15]</sup> 이러한 특성 덕분에 SOFC 기술은 현재의 가스 인프라와 미래의 수소 경제를 잇는 장기적 브리지 역할을 하며, BTM SOFC 설비가 장기적으로는 전력·열·수소 생산과 에너지 관리 기능을 통합한 "온사이트 에너지 허브"로 진화할 수 있는 기반을 제공합니다.

## 4. 시장 전환점: 데이터와 투자 기회의 흐름

### 4.1 숫자로 보는 BTM 시장

BTM-SOFC로 유입되고 있는 자본의 규모는 분산전원 산업 역사상 전례가 없을 정도입니다. 골드만삭스 서스테인 리서치(Goldman Sachs Sustainability Research)는 2030년까지 데이터센터 전력 수요의 25-50%가 BTM 솔루션으로 충당될 수 있으며, 이는 약 8-20 GW 규모의 SOFC 설치 용량에 해당할 수 있다고 추정합니다. 현재 SOFC 설비 단가 추세를 감안할 때 향후 5년 동안 약 50-104조 원 수준의 프로젝트 투자가 이루어진다는 의미입니다.<sup>[3]</sup>

여러 독립 시장조사기관들은 글로벌 SOFC 시장이 2024년 약 3.7조 원에서 2033년 50조 원을 상회하는 규모로 성장할 것으로 전망하며, 이 기간 동안 연평균 30%가 넘는 성장률을 예상합니다.<sup>[12]</sup> 이 가운데 상당 부분은 데이터센터와 고신뢰 산업 설비를 중심으로 한 정지형 발전, 그중에서도 BTM 부문에서 발생할 것으로 보고 있습니다.

### 4.2 선행 지표로서의 Bloom Energy

세계 최대 상업용 SOFC 제조사인 Bloom Energy는 BTM-SOFC 시장 모멘텀을 가장 명확하게 보여주는 정량적 지표를 제공합니다. 이 회사의 2025년 실적은 전환점을 상징합니다.<sup>[1,2]</sup>

- 2025년 연간 매출은 2.6조 원으로, 2024년 대비 37.3% 증가하며 처음으로 연 매출 2.6조 원을 돌파했습니다.<sup>[1]</sup>
- 제품 수주 잔고는 전년 대비 약 2.5배 증가해 약 8.1조 원 수준에 도달했습니다.<sup>[1]</sup>
- 제품과 장기 서비스 계약을 합한 전체 수주 잔고는 약 27조 원에 이르렀습니다.<sup>[2]</sup>
- 2년 연속으로 잉여현금흐름이 플러스 전환에 성공했으며, 2025년 한 해 동안 영업활동으로 1,480억 원의 현금을 창출했습니다.<sup>[1]</sup>

- 프리몬트 공장은 2026년 말까지 연간 2 GW 런레이트 달성을 목표로 하고 있으며, 중기적으로 5 GW 까지 확대하는 로드맵을 제시하고 있습니다.<sup>[2]</sup>
- 2025년 10월, Brookfield Asset Management 와 6.5 조 원 규모의 전략적 AI 인프라 파트너십을 발표한 데 이어, 2026년 1월에는 주가가 75% 급등하며 시가총액 41.6 조 원을 넘어섰습니다.<sup>[4,8]</sup>

이러한 수치는 대규모 클라우드 사업자, 임대형 데이터센터, 수요처 인근 발전을 추진하는 전력 회사, 다양한 산업 고객에 이르기까지 폭넓고 가속화되는 주문 흐름을 반영합니다. 즉, SOFC-BTM 채택이 초기 수용기(early adopter)를 지나 초기 대다수(early majority) 단계로 진입했음을 의미합니다.<sup>[2]</sup> Bloom Energy는 2026년 현재 9개국 1,800개 사이트에서 400 MW가 넘는 데이터센터 전력을 연료전지로 공급하고 있습니다.<sup>[10]</sup>

### 4.3 분수령이 된 거래들: 90 일간의 급등

시장 전환점을 가장 극적으로 보여주는 장면은 2025년 10월부터 2026년 1월까지, 불과 90일 동안 집중적으로 쏟아진 대규모 계약들입니다. 이 기간 체결된 확정 SOFC 계약 규모는 총 10조 원에 달했습니다.<sup>[4]</sup>

시점	거래 상대방	규모	내용
2025년 10월	Brookfield Asset Management	약 6.5조 원 (50억 달러)	전 세계 AI 데이터센터에 Bloom SOFC를 배치하는 에너지-서비스형(EaaS) 전략적 파트너십 체결. [8]
2026년 1월	American Electric Power (AEP)	약 3.6조 원 (26.5억 달러)	와이오밍 AI 캠퍼스 약 900 MW 규모 SOFC 용량 무조건 매입 계약 체결. [4]
2025년 (연중)	Oracle / Equinix / CoreWeave	미공개	100 MW 이상 다수 프로젝트 진행; CoreWeave의 14 MW 설비는 계약 후 90일 이내 가동. [7,9]

출처: Bloom Energy SEC 공시 [1]; Introl Research, 2026년 2월 [4].

Brookfield와 AEP 두 건만 놓고 보더라도, 이전 10년 동안 전 세계 연료전지 산업이 데이터센터 부문에서 올린 매출을 합친 것 이상의 규모가 단 한 분기 안에 집중된 셈입니다.<sup>[4]</sup> 골드만삭스, 모건스탠리, 에버코어 ISI 등 투자등급 리서치 기관들은 잇따라 리포트를 통해 SOFC를 데이터센터용 기저부하 전원으로서 은행 취급이 가능한(bankable) 인프라 자산 클래스로 인정했습니다.<sup>[3]</sup>

#### 4.4 국내외 시장 신호

이러한 시장 전환은 미국에만 국한되지 않습니다. 한국에서는 Bloom Energy와 SK에코플랜트의 합작 구조를 통해 동남아시아 데이터센터 전력 공급 프로젝트에 SOFC가 도입되면서, SOFC-BTM 모델의 상업성이 국제적으로도 입증되고 있습니다.<sup>[7]</sup> 대만에서는 Energy Taiwan 2025 포럼에서 AI 데이터센터 전력 수요가 SOFC 배치를 견인하는 핵심 요인으로 지목되었고, 현지 공급망은 기가와트급 SOFC 기회를 선점하기 위해 적극적으로 움직이고 있습니다.<sup>[16]</sup> 유럽에서는 강화되는 탄소가격제와 환경 규제가 가스터빈 대비 저배출 BTM 솔루션의 상대 경쟁력을 높이고 있어, 북미를 넘어선 시장 확대 가능성이 점차 현실화되고 있습니다.

### 5. 경쟁 구도: SOFC와 그 밖의 BTM 기술

BTM 시장은 단일 기술로 채워지는 영역이 아닙니다. 다양한 분산전원 기술이 서로 경쟁하고, 경우에 따라서는 서로를 보완하면서 적용 영역을 나누어 갖습니다. 이 장에서는 고신뢰 시설을 위한 상시 전력 공급이라는, 현재 가장 빠르게 성장 중인 BTM 영역을 기준으로 주요 기술들을 평가합니다.<sup>[19]</sup>

#### 표 1. 데이터센터 적용 BTM 기술 비교

기술	용량 (MW)	리드타임	기동시간	면적 (MW/에이커)	전기효율	LCOE (\$/MWh)
SOFC (연료전지)	0.3 – 100+	3 – 4개월	베이스로드	30 – 100	50 – 60%	100 – 200
항공형 가스터빈	30 – 60	18 – 36개월	10분	30 – 50	35 – 40%	80 – 130
산업형 가스터빈	5 – 50	12 – 36개월	20 – 30분	20 – 40	35 – 40%	65 – 110
소형 CCGT	40 – 100	18 – 36개월	30 – 60분	20 – 30	40 – 55%	85 – 160
중속 RICE	7 – 20	15 – 24개월	5 – 10분	8 – 15	40 – 50%	80 – 150
고속 RICE	3 – 5	15 – 24개월	2 – 5분	5 – 12	40 – 50%	120 – 200
H급 CCGT	600 – 1,000	36 – 60개월	30 – 60분	20 – 30	50 – 60%	100 – 200
PEM 연료전지	0.1 – 10+	6 – 12개월	수분	소형·컴팩트	40 – 55%	150 – 300+
BESS (배터리)	규모 무관	6 – 12개월	수초	가변	해당 없음 (저장)	베이스로드 불가

출처: Landgate BTM Report 2026 [5]; Goldman Sachs Sustain Research [3]; Bloom Energy 기술 문서 [10,11]; Voltacera 분석 [19].

## 5.1 가스터빈: 항공형·산업형

가스터빈은 대규모 BTM 발전에서 가장 성숙하고 널리 사용되어 온 대안 기술입니다. 30-60 MW 급 항공형(Aeroderivative) 가스터빈은 약 10분 수준의 빠른 기동과 검증된 유지보수 생태계를 제공합니다. 그러나 전기 효율이 35-40% 수준에 머물기 때문에, MWh당 연료 소비량이 SOFC보다 현저히 많아 연료비와 탄소 배출 측면에서 불리합니다.<sup>[19]</sup> 5-50 MW급 산업형(Industrial) 가스터빈은 추정 LCOE가 65-110달러/MWh 수준으로 유리한 편이지만, 12-36개월의 긴 리드타임과 상당한 소음 및 대기오염 배출로 인해 도시·교외 데이터센터 부지에서는 인허가 부담이 크게 작

용합니다.<sup>[5,18]</sup>

더 근본적으로, 항공형·산업형 가스터빈 모두 대규모 수소 전환 관점에서 뚜렷한 경로를 제시하지 못하고 있습니다. 수소 연소는 화염 온도, NOx 생성, 플래시백 위험을 제어하기 위해 연소기와 관련 하드웨어를 대폭 변경해야 하며, 기존 터빈 설계를 간단히 개조하는 수준으로 해결되기 어렵습니다.<sup>[17]</sup> 이는 가스터빈 기반 BTM 투자가 장기적인 탈탄소 옵션 측면에서 제약을 가지게 만듭니다.

## 5.2 복합 화력발전 (CCGT)

40–100 MW급 소형·중형 복합화력(CCGT)은 배기가스를 활용한 증기 사이클을 추가해, 단순 사이클 대비 40–55% 수준의 높은 효율을 달성합니다. 하지만 이 추가적인 복잡성은 리드타임(18–36개월)을 늘리고 최소 경제 규모를 높여, 프로젝트 유연성을 떨어뜨립니다.<sup>[18,19]</sup> 600–1,000 MW급 H-Class CCGT는 전기 효율 50–60%로 SOFC에 필적하지만, 건설에 36–60개월이 소요되고 CAPEX가 10억 달러를 넘어서는 경우가 많아, 모듈형·고속 배치를 요구하는 데이터센터 BTM 모델과는 근본적으로 맞지 않습니다.<sup>[5]</sup>

## 5.3 왕복동 내연기관 (RICE)

7–20 MW급 중속 RICE와 3–5 MW급 고속 RICE는 모듈성과 2–10분 수준의 빠른 기동을 제공해, 피킹·비상발전 용도에서는 매우 유용한 솔루션입니다. 그러나 40–50% 수준의 전기 효율, 다수의 움직이는 부품으로 인한 잦은 정비, 높은 소음과 진동, NOx 및 입자상 물질 배출 등은 연속 베이스트로드 운전에도 상당한 부담을 줍니다.<sup>[19]</sup> 특히 고속 RICE는 BTM 기술 중 가장 높은 수준의 LCOE(120–200달러/MWh)를 기록하는 것으로 알려져, 연료비 비중이 큰 장시간 연속 운전 용도에서는 경쟁력이 떨어집니다.<sup>[18]</sup>

## 5.4 PEM 연료전지

양성자교환막 연료전지(PEMFC)는 종종 SOFC의 잠재적 경쟁 기술로 거론됩니다. PEM 시스템은 60–80°C의 저온에서 작동해 시동·정지 속도가 빠르며, 그린 수소를 연료로 사용할 경우 사용 지점에서 CO<sub>2</sub> 배출이 전혀 발생하지 않습니다.<sup>[6]</sup>

그러나 PEM 연료전지는 단기적으로 두 가지 구조적 제약에 직면해 있습니다. 첫째, 상업 규모의 그린 수소 공급이 아직 충분하지 않고 비용도 높습니다. 에너지 기준으로, 대부분 시장에서 공급 수소 가격은 파이프라인 천연가스 대비 3–6배 수준입니다.<sup>[17]</sup> 둘째, 데이터센터급 주전원 용도의 PEM 시스템은 여전히 실증 단계에 머물러 있으며, 마이크로소프트–Ballard의 2025년 프로젝트에서도 디젤 비상발전기 대체가 목표였을 뿐, 주 베이스로드 전원으로 쓰인 사례는 아닙니다.<sup>[6]</sup> 현재 시장 구분은 비교적 명확합니다. SOFC는 즉시 적용 가능한 상업적·대규모 해법이며, PEM은 장기적인 제로 탄소 프론티어로서 연구·실증 단계에 있는 기술입니다.<sup>[9]</sup>

## 5.5 배터리 에너지저장장치 (BESS)

배터리 저장시스템(BESS)은 2–4시간 수준의 단주기 용도, 계통 밸런싱, 수요요금 관리에서 점점 더 비용 경쟁력을 확보하고 있습니다. 하지만 전력을 생산하지 않는 순수 저장 설비이기 때문에, 연속 베이스로드 전원을 대체할 수는 없습니다. 예를 들어 100 MW 연속 전력이 필요한 데이터센터가 정전 시 4–8시간을 버티려면, 400–800 MWh의 배터리 용량이 필요합니다—이는 에너지 공급 없이 저장 설비에만 1,500–4,000억 원 수준의 자본을 투입해야 한다는 의미입니다.<sup>[18]</sup> 따라서 BESS는 SOFC와 경쟁하기보다는, SOFC가 선호하는 안정적인 베이스로드 운전을 유지시키면서 단기 응답성과 계통 서비스 수익을 제공하는 보완적 기술로 이해하는 편이 적절합니다.<sup>[19]</sup>

## 6. 시장 구조와 경쟁 역학

### 6.1 급팽창하는 시장, 아직 충분하지 않은 공급

SOFC-BTM 시장이 만들어 내고 있는 기회の本질을 이해하려면, 수요와 공급을 따로 봐야 합니다. 수요 측면에서는 전례 없는 속도의 팽창이 진행 중입니다. Goldman Sachs는 2030년까지 데이터센터 BTM 수요만으로 8–20 GW의 SOFC 설치 용량이 필요할 것으로 추정했고,<sup>[3]</sup> SOFC 시장 자체는 2024년 약 3.5조 원에서 2033년 48조 원 이상으로 성장할 것으로 전망됩니다.<sup>[12]</sup> 이는 연평균 30%를 넘는 성장률입니다.

공급 측면에서는 사정이 다릅니다. 현재 상업 규모의 SOFC 시스템을 안정적으로 생산할 수 있는 제조사는 극소수에 불과하며, 주요 대형 고객들은 이미 장기 선점 계약을 통해 미래 물량을 확보하는 데 나서고 있습니다. Brookfield와 AEP의 계약이 이를 상징적으로 보여줍니다—이들은 제품이 만들어지기 전에 수십억 달러의 확약을 체결했습니다.<sup>[4]</sup>

이 수요-공급 간 구조적 불균형은 시장이 형성되고 있는 지금 이 시점에 포지션을 잡는 플레이어에게 강력한 진입 동기를 제공합니다.

### 6.2 공급 집중이 의미하는 것: 위협이 아닌 시장 검증

현재 고정형 전력용 SOFC 시장에서 Bloom Energy가 선도적 위치를 점하고 있는 것은 사실입니다. 그러나 이 사실을 "이미 닫힌 시장"으로 읽는 것은 오독입니다. 오히려 두 가지 중요한 신호로 읽어야 합니다.

첫째, 기술 가능성이 완전히 검증됐습니다. Bloom이 20년간 시장을 개척하며 쌓아온 실적—9개국 1,800개 사이트, 400 MW 이상의 데이터센터 공급<sup>[10]</sup>—은 SOFC-BTM 모델 자체가 대규모로 작동한다는 것을 의미합니다. 신규 진입자는 기술 검증의 부담을 지지 않아도 됩니다. 시장이 그

일을 이미 해두었습니다.

둘째, 공급 부족이 구조적으로 확인되었습니다. 2025년 3월, Bosch가 SOFC 사업에서 철수했습니다.<sup>[7]</sup> 이는 기술의 실패가 아니라, 기존 선도 업체의 비용 곡선을 따라잡기 위한 자본 투입과 시간 투자를 감당하기 어렵다는 판단에서 비롯된 것입니다. 영국의 Ceres Power는 금속 지지체 기반의 차세대 SOFC 플랫폼을 개발하고 있지만, 기가와트 규모의 상업 배치까지는 아직 수년이 필요합니다. 결과적으로 급증하는 수요를 충족할 공급 역량이 절대적으로 부족한 상황이며, 이 갭은 단기간에 해소되기 어렵습니다.

역설적이게도 공급 집중이 심화될수록, 셀·스택·소재 등 부품 기술을 보유한 기업의 협상력과 시장 내 전략적 가치는 높아집니다. 오늘 공급망에 자리를 잡는 플레이어가 시장 확산의 가장 큰 수혜자가 됩니다.

### 6.3 금융 혁신이 열어준 접근 경로

SOFC 도입의 가장 큰 장벽은 오랫동안 초기 자본 비용이었습니다. kW당 400만~650만 원의 설치 비용은 가스터빈보다 높은 수준으로,<sup>[18]</sup> 장기 TCO 관점에서는 경쟁력이 있더라도 고객이 대규모 CAPEX를 일시에 집행해야 한다는 점이 확산을 제약했습니다.

Brookfield 파트너십이 도입한 에너지 서비스형(EaaS) 모델은 이 구조적 장벽을 해소했습니다.<sup>[8]</sup> 발전 설비의 소유권은 금융 파트너가 유지하고, 데이터센터 운영자는 장기 전력구매계약(PPA)에 따라 MWh 단위로 전기를 구입합니다. 고객 입장에서는 대규모 설비투자 없이 SOFC BTM의 혜택을 누릴 수 있고, 에너지 비용을 CAPEX가 아닌 OPEX로 처리할 수 있어 재무 지표 관리에도 유리합니다.

이 모델의 파급 효과는 단순한 금융 혁신에 그치지 않습니다. EaaS 구조는 SOFC 채택의 문턱을

크게 낮추면서 잠재 고객 풀을 확대하고, 공급사 입장에서는 장기 반복 수익을 확보하는 비즈니스 모델로의 전환을 가능케 합니다. Bloom의 서비스 수주잔고가 5-20년 O&M 계약 기준 약 18.2조 원<sup>[1,2]</sup>에 달하는 것은 이 구조가 이미 작동하고 있음을 보여줍니다. 진입하는 플레이어는 이미 검증된 금융 청사진 위에서 사업을 구조화할 수 있습니다.

#### 6.4 정책 환경: 수익성을 높이는 외부 변수

규제와 정책은 시장 진입자에게 유리하게 작용하는 또 다른 구조적 순풍입니다. 미국의 인플레이션 감축법(IRA)은 요건을 충족하는 연료전지 설비에 최대 30%의 투자세액공제(ITC)를 제공하며, 국산 부품 사용이나 에너지 커뮤니티 입지 요건 충족 시 추가 인센티브를 부여합니다.<sup>[15]</sup> 이는 프로젝트 경제성을 직접적으로 개선하며, 금융 조달 시 신용도 향상에도 기여합니다. Bloom은 2028년까지의 세액공제 세이프 하버 물량을 선점했다고 밝혔습니다.<sup>[1]</sup>

한국에서는 분산에너지 활성화 정책과 신재생에너지 공급의무화제도(RPS)가 연료전지 포함 분산형 발전 수요를 구조적으로 견인하고 있습니다.<sup>[7]</sup> 유럽에서는 강화되는 탄소가격제와 대기오염 규제가 저배출 BTM 솔루션의 상대적 경제성을 지속적으로 개선하고 있습니다. 탄소 규제가 전 세계적으로 강화될수록, 고효율·저배출이라는 SOFC의 구조적 특성이 프로젝트 수익성으로 더 직접적으로 전환됩니다. 지금 시장에 진입하는 플레이어는 앞으로 더 유리해질 정책 환경을 등에 업고 출발하는 셈입니다.

#### 6.5 경제성: 이미 작동하고, 앞으로 더 좋아진다

현재 SOFC 시스템의 CAPEX와 LCOE는 가스 엔진·소형 가스터빈 대비 높은 것이 사실입니다. 그러나 고신뢰 BTM 고객들이 실제로 평가하는 기준은 단순한 kWh 단가가 아닙니다. 이들이 계산하는 총소유비용(TCO)에는 다음 요소가 모두 포함됩니다.<sup>[18,19]</sup>

- 계통 연계 및 변전 설비 투자비 회피
- 수요요금·피크 요금 절감 효과
- 탄소 배출권·환경비용
- 정전·전력품질 저하로 인한 생산·서비스 중단 리스크
- 규제 및 ESG 평판 리스크

데이터센터, 반도체 팹, 병원에서 한 시간의 예기치 못한 다운타임은 수십억~수백억 원 규모의 손실로 이어질 수 있습니다. 이런 환경에서 단순 전기요금이 다소 높더라도 정전 리스크를 사실상 제거해 주는 인프라에 프리미엄을 지불하는 것은 경제적으로 충분히 합리적입니다.

그리고 이 경제성은 앞으로 더 개선됩니다. SOFC 시스템 비용은 제조 규모 확대, 공정 최적화, 공급망 고도화를 통해 지속적으로 하락 중이며,<sup>[12]</sup> 셀·스택 수명 향상은 주요 정비 주기를 늘려 LCOE를 추가로 낮추고 있습니다. 여기에 정책 인센티브, 그린 PPA 프리미엄, 강화되는 탄소 가격이 더해지면서,<sup>[13,15]</sup> 핵심 시장에서의 프로젝트 경제성은 시간이 지날수록 더 유리한 방향으로 움직이고 있습니다.

지금 이 시장에 진입하는 것의 의미는 단순히 현재의 수익 기회를 포착하는 것이 아닙니다. 비용이 내려가고, 수요가 늘어나고, 정책이 강화되는 방향—이 세 벡터가 모두 같은 방향을 가리키는 시장에서, 초기 포지션을 확보하는 것입니다.

## 7. 볼타세라에 대한 시사점과 향후 방향

앞서 살펴본 시장 역학은 매우 구체적이면서도, 시간적으로 제한된 기회를 만들어 내고 있습니다. SOFC-BTM은 데이터센터 분야에서 이미 초기 대다수(early majority) 채택 단계로 진입했으며, 향후 15–20년 동안 설치 기반을 좌우할 자본 배분 결정이 지금 이루어지고 있습니다.<sup>[5,13]</sup> 이

시기에 어떤 셀·스택 기술을 선택해 공급망과 레퍼런스를 쌓느냐가, 이후 세대의 시스템 경쟁력을 사실상 결정하게 됩니다.

현재 사이클에서 제조 규모, 공급망, 고객 레퍼런스를 선점하는 기업들은, 누적 설치 기반과 장기 서비스 계약이 만들어 내는 고착 효과(lock-in)를 통해 구조적인 우위를 확보하게 될 것입니다. 볼타세라는 바로 이 지점에서 셀 전문 파트너로서 역할을 정의하고 있습니다. 저희는 스택/시스템/프로젝트 개발까지 모든 것을 직접 수행하기보다는, 글로벌 스택·시스템 메이커와의 협업을 전제로 플랫폼을 설계하고 있습니다.

### 7.1 제조비 절감: 스택·시스템 메이커의 마진 공간 확대

SOFC 수요가 기가와트 단위로 확대될수록, 세라믹 셀·스택의 제조비는 전체 시스템 원가에서 가장 민감한 레버가 됩니다.<sup>[12]</sup> 볼타세라의 우선 순위는 소재 혁신과 공정 개발을 통해 셀 제조비를 체계적으로 낮추는 것입니다. 이를 통해 시스템 메이커에게 다음과 같은 선택지를 제공합니다.

- 동일 판매가에서 더 높은 마진 확보
- 동일 마진에서 더 공격적인 프로젝트 입찰가 제시
- 프리미엄 성능(고효율·장수명)을 유지하면서도 경쟁 기술 대비 가격 우위를 확보

### 7.2 연료 유연성과 수소 전환성: 장기 포트폴리오 리스크 완화

천연가스 기반 SOFC-BTM은 "지금 당장" 데이터센터와 산업 부문의 요구를 충족시키는 해법입니다. 그러나 10-20년 수명을 고려할 때, 장기적으로 수소·암모니아 등 저탄소 연료로의 전환 경로를 확보하지 못한 시스템은 자산 좌초 리스크에 노출됩니다.

볼타세라의 전해질·전극 구조는 초기에는 천연가스에서 최적 효율을 내면서도, 향후 수소 혼합 및 100% 수소 운전을 무리 없이 수용하도록 설계되고 있습니다. 이는 스택·시스템 메이커 입장

에서 현재의 가스 인프라를 활용한 프로젝트 수주가 가능하면서도, 동일 플랫폼을 기반으로 향후 수소·저탄소 연료 전환 프로젝트까지 포트폴리오를 확장할 수 있는 유연성을 의미합니다.

### 7.3 셀 성능: 시스템 차별화의 기반

시장 성숙 단계에서는 시스템 통합 역량 못지않게 셀·스택의 전기 효율, 내구성, 열화 속도가 차별화의 핵심으로 부각될 것입니다. 동일한 BoP와 제어 로직을 사용하더라도, 셀·스택 성능이 1-2%포인트만 개선되어도 LCOE, 연료비, 온실가스 배출에서 의미 있는 차이가 발생합니다. 우수한 성능을 가진 셀 개발사는 공급망 안에서 구조적인 가격 결정력을 갖게 됩니다.

### 7.4 SOEC 통합: 전력-수소-열 통합 허브로의 확장

데이터센터와 산업 고객은 점점 더 전력뿐 아니라 수소, 공정열, 냉열 등 다양한 에너지 수요를 한 번에 해결할 수 있는 통합 솔루션을 요구하고 있습니다. 볼타세라의 기술 플랫폼은 동일한 세라믹 전지로 연료전지 모드(SOFC)와 수전해 모드(SOEC)를 모두 지원하는 것을 목표로 합니다.<sup>[15]</sup> 이는 스택·시스템 메이커에게 초기에는 SOFC-BTM 발전 프로젝트로 시장에 진입한 뒤, 동일 기술 기반으로 온사이트 수소 생산, 열병합, 에너지 허브 프로젝트로 확장할 수 있는 중장기 옵션을 제공합니다.

### 7.5 시스템 통합 역량과 파트너십 모델

데이터센터 운영자는 발전, 열관리, 에너지관리시스템(EMS)을 하나의 툰키 패키지로 제공할 수 있는 파트너를 찾고 있습니다. 볼타세라는 셀·스택과 코어 모듈 설계에 집중하고, 시스템·프로젝트 통합은 글로벌 파트너와의 협업을 통해 완성하는 모델을 지향합니다. 모듈형 스택·모듈 디자인은 파트너 시스템 메이커가 자체 패키징·제어·서비스 모델을 유연하게 설계할 수 있도록 하며,

공동 데모 프로젝트와 레퍼런스 사이트 구축을 통해 양측 모두가 시장 신뢰도와 파이프라인을 함께 키우는 구조를 목표로 합니다.

## 8. 결론

BTM-SOFC 시장은 "곧 전환점에 도달할" 단계가 아니라, 이미 분명한 전환점을 넘어섰습니다. AI가 견인하는 전력 수요 증가, 만성적인 계통 혼잡, 그리고 SOFC가 가진 높은 전기 효율·사실상 무배출 수준의 대기오염, 연료 유연성, 빠른 배치 속도가 맞물리면서, 분산형 온사이트 발전으로의 구조적 자본 재배분이 이미 현실화되고 있습니다.<sup>[3,5,6]</sup>

90일 사이에 체결된 약 10조 원 규모의 확정 계약,<sup>[4]</sup> Bloom Energy의 2.5배에 달하는 수주 잔고 성장,<sup>[1]</sup> 골드만삭스의 8-20 GW 수요 전망<sup>[3]</sup>과 주요 투자은행들의 독립적 검증은 단순한 전망이 아니라 이미 발생한 시장의 사건입니다. 현재 9-10조 원 수준인 BTM 시장은 2034년 400조 원을 넘어설 것으로 전망되며,<sup>[13]</sup> 3.5조 원 규모의 SOFC 부문 역시 2033년 48조 원으로 성장할 것으로 예측됩니다.<sup>[12]</sup> 지금 SOFC 공급망과 프로젝트 개발 생태계 안에 위치를 잡는 기업들은, 2030년을 향해 시장이 확장해 갈수록 구조적으로 유리한 위치에서 경쟁하게 될 것입니다.

볼타세라는 바로 이 시점을 겨냥해 기술과 역량을 구축하고 있습니다. 이후 챕터에서는 볼타세라가 어떤 기술적·사업적 선택을 통해 이 기회를 실질적인 경쟁우위로 전환해 나갈 것인지 구체적으로 보여 드릴 것입니다.

## 참고문헌 (References)

- [1] Bloom Energy Corporation. (2026년 2월). Form 8-K: Q4 및 2025년 연간 실적 발표. 미국 증권거래위원회(SEC). <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1664703/000162828026005798/be-20260205.htm>
- [2] Bloom Energy Corporation. (2026). 2026 Proxy Statement (DEF 14A). 미국 증권거래위원회(SEC). <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1664703/000162828026024237/0001628280-26-024237-index.html>
- [3] Goldman Sachs Sustain Research. (2026). Fuel Cells: Powering the Next Era of Data Center Infrastructure. [ZeroHedge 요약본 참조, 2026년 2월 2일.] <https://www.zerohedge.com/news/2026-02-02/fuel-cells-poised-capture-13-data-center-power-demand-2030>
- [4] Introl Research. (2026년 2월 24일). Fuel Cells: AI Data Center Power's \$7.65B Dark Horse. <https://introl.com/ko/blog/fuel-cells-data-center-power-dark-horse-7-billion>
- [5] Landgate. (2026년 4월). Behind-the-Meter Report: 2026 Outlook. <https://www.landgate.com/news/behind-the-meter-report-2026-outlook>
- [6] EnkiAI. (2026년 1월 24일). Fuel Cells Power Data Centers in 2025: The AI Boom. <https://enki.ai/data-center/fuel-cells-power-data-centers-in-2025-the-ai-boom>
- [7] EnkiAI. (2025년 11월 5일). Bloom Energy SOFC 2025: Analysis of AI & Partnerships. <https://enki.ai/solid-oxide-fuel-cells/bloom-energys-2025-sofc-tech-for-ai-data-centers>
- [8] EnkiAI. (2026년 4월). Bloom Energy 2026: AI Data Center & SOFC Deals. <https://enki.ai/solid-oxide-fuel-cells/bloom-energy-2026-ai-data-center-sofc-deals/>
- [9] EnkiAI. (2026년 1월 24일). Top 10 2025 Fuel Cell Projects for AI Data Centers. <https://enki.ai/data-center/top-10-2025-fuel-cell-projects-for-ai-data-centers>
- [10] Bloom Energy. (2025년 12월 2일). The AI Revolution: How Fuel Cells Are Solving the Data Center Power Challenge. <https://www.bloomenergy.com/blog/the-ai-revolution-how-fuel-cells-are-solving-the-data-center-power-challenge/>
- [11] Data Center Dynamics. (2026년 2월 11일). Powering the Future Starts Onsite. <https://www.datacenterdynamics.com/en/marketwatch/powering-the-future-starts-onsite/>

- [12] Straits Research. (2025). Solid Oxide Fuel Cell Market Size, Share & Trends, 2025–2033.  
<https://straitsresearch.com/report/solid-oxide-fuel-cell-market>
- [13] Fortune Business Insights. (2025). Behind the Meter (BTM) Market Size, Industry Share & Forecast. <https://www.fortunebusinessinsights.com/behind-the-meter-btm-market-109954>
- [14] International Energy Agency (IEA). (2024). Electricity 2024: Analysis and Forecast to 2026.  
<https://www.iea.org/reports/electricity-2024>
- [15] U.S. Department of Energy, Fuel Cell Technologies Office. Multi-Year Research, Development, and Demonstration Plan. <https://www.energy.gov/cmei/fuels/articles/hydrogen-and-fuel-cell-technologies-office-multi-year-research-development-and>
- [16] Digitimes Research. (2025년 11월 13일). AI Data Center Power Consumption Drives SOFC Deployment in Taiwan. <https://www.digitimes.com/news/a20251106PD248/>
- [17] McKinsey & Company. (2024). Hydrogen and Energy Transition: Strategic Implications for Industry. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-hydrogen-energy>
- [18] Lazard. (2024). Levelized Cost of Energy Analysis — Version 17.0.  
<https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-12/34-%20Exh.%20FF-%20Lazard%27s.pdf>
- [19] Voltacera 내부 분석. (2026). BTM 기술 벤치마킹: SOFC vs. 경쟁 발전 기술. Voltacera Research.

면책 고지: 본 백서는 Voltacera가 정보 제공 목적으로만 작성하였습니다. 본 문서에 포함된 정보는 2026년 4월 기준으로 신뢰할 수 있다고 판단되는 공개 자료에 기반하고 있습니다. Voltacera는 인용된 제3자 데이터의 정확성이나 완전성에 대해 어떠한 진술이나 보증도 하지 않습니다. 본 문서는 투자 조언, 청약 권유 또는 증권 매도 제안을 구성하지 않습니다.