

iM증권 리서치본부

[에너지/유틸리티]

Overweight

iM증권

2026.06.16

In-Depth Report

BTM 발전의 중장기 과제와 그 해결책이 될 SMR (feat. TerraPower 방문 후기)

[에너지/정유/화학]

전유진 2122-9193

yujinjn@imfnsec.com

[RA]

장호 2122-9194

hojang@imfnsec.com

SK innovation

SK

TerraPower



CONTENTS

[산업분석]

0. 이번 보고서의 배경	5
Ⅰ. 이제 AIDC에서 빼놓을 수 없는 BTM 발전	6
Ⅱ. 중장기 BTM 발전의 과제: 기저전원 확보	20
Ⅲ. 차세대 BTM 기저발전으로 부상할 SMR	26
Ⅳ. SMR 기술 및 개발 현황	45
V. TerraPower 사이트 투어 후기	59

[기업분석]

SK이노베이션 (096770)	69
NuScale Power (SMR-US)	77
Oklo (OKLO-US)	83



산업분석

0. 이번 보고서의 배경

I. 이제 AIDC에서 빼놓을 수 없는 BTM 발전

II. 중장기 BTM 발전의 과제: 기저전원 확보

III. 차세대 BTM 기저발전으로 부상할 SMR

IV. SMR 기술 및 개발 현황

V. TerraPower 사이트 방문 후기

Summary

I. 이제는 AI 데이터센터에서 빼놓을 수 없을 BTM 발전

지난 5월 11일 발간한 <AIDC가 여는 온사이트 BTM 발전 시대> 보고서에서는 AI 데이터센터의 전력 수요 특성을 크게 양적확대와 고품질의 전력 요구, 높은 부하 변동성 등으로 설명한 바 있다. 그리고 최근 계통병목 심화를 고려했을 때 계통연결 시간을 단축하고 AI 데이터센터에서 요구하는 품질의 전력 조건을 충족하기 위한 수단으로 온사이트 BTM 발전 체제 도입이 필요함을 강조했다.

보고서 발간 이후 지난 한 달 동안 DOE는 전력수급 비상상황 시 PJM이 데이터센터 백업전원 가동을 지시하고 전력공급도 축소할 수 있는 권한을 부여하는 긴급명령을 발동했고, 뉴욕주와 시애틀에서는 1년 동안 데이터센터 건설금지 법안이 의회에서 통과되었다. 불과 한 달 사이에 발생한 이슈들은 AI 데이터센터의 계통연결 리스크가 점점 확대되고 있음을 의미하고, 이는 BTM 발전이 더 이상 백업전원에 그치지 않고 AI 데이터센터 핵심 전력조달 수단으로 진화할 수밖에 없다는 점을 시사한다. 따라서 앞으로 AI 데이터센터 운영에 있어서 계통 의존도를 낮추고, 독립 발전이 가능한 전력 인프라 구축은 매우 중요한 과제로 부각될 것으로 전망한다.

II. 중장기 BTM 발전의 과제: 기저전원 확보

현재까지 AI 데이터센터들이 전통적인 계통연결 외에 전력을 조달하는 주요 수단은 PPA 체결과 자체 보유한 백업전원의 활용이다. 그러나 계통혼잡이 심해질수록 출력제한과 수요제어 등의 제약이 더욱 빈번해질 수밖에 없는 만큼 중장기적으로는 계통연결 없이 독립 발전이 가능한 구조로 확장 및 전환해야 한다. 또한 최근 AI 데이터센터는 GW 단위로 규모가 확대되고 있는데, 이는 필요로 하는 용량도 점점 커진다는 의미이다. 따라서 앞으로는 AI 데이터센터 BTM 발전 구조에 있어서 대용량의 전력을 안정적으로 공급할 수 있는 기저전원이 확보되어야 하고, 어떤 발전원이 그 역할을 할 수 있을 것인가에 대해서도 고민이 필요한 시점이다.

III. 차세대 BTM 기저발전으로 부상할 SMR

기저전원은 24시간 안정적인 전력공급을 담당하는 만큼 기후변화 같은 외부요인에 따른 영향이 없어야 하고, 발전단가 또한 낮아야 한다. 현재 BTM 주요 발전원인 가스발전은 24시간 운영 가능하나, 연료비가 높고 천연가스 가격 변동성이 크다는 점도 부담이다. 반면, SMR과 연료전지는 24시간 전력 공급과 빠른 출력조절이 가능하다는 장점이 있다. 특히 연료전지는 설치기간이 짧고 가스터빈 대비 높은 발전효율, 이미 상용화된 기술 수준, 연료만 계속 공급되면 24시간 전력 생산 가능하다는 점 등에서 최근 Bloom Energy 중심으로 데이터센터용 SOFC 공급이 확대되고 있다. 다만, 연료전지는 전력 생산이 늘수록 천연가스 투입도 늘어 장기적인 연료비 부담이 가중되고, 불량당 250~325kW에 그쳐 수십개에서 수백개 이상 묶어 모듈 형태로 설치해야 겨우 MW 규모의 전력을 공급할 수 있다. 단기적으로는 연료전지가 기저전원 역할을 맡을 수 있겠으나, 중장기로는 규모의 경제 측면에서 경쟁력이 낮을 수 있다.

SMR은 소형·모듈화 설계를 통해 대형원전 대비 건설 리스크를 낮추면서도 원전 특유의 안정적인 기저발전 능력을 제공할 수 있어 차세대 BTM 기저전원으로 주목할 만 하다. 대형원전과 동일한 터빈 회전운동을 통해 전력을 생산하는 만큼 전압과 주파수 안정성 등 전력품질 측면에서도 연료전지 대비 우수하고, 24시간 가동했을 때 연료비 부담이 낮다는 장점도 있다. 특히 AI 데이터센터들이 요구하는 24시간 무탄소 전력 공급과 높은 전력품질을 동시에 만족시킬 수 있는 몇 안되는 발전원 중 하나이다.

SMR을 기저발전원으로 활용하는데 있어 최대 과제는 상용화 시기와 경제성인데, 최근 미국에서는 SMR 상용화 속도를 높이기 위한 정부의 정책 및 재정적 지원이 적극적으로 이뤄지고 있다. Part 53, 57 체계 도입에 따라 인허가 절차와 기간은 대폭 축소될 것으로 예상되고, ARDP 지원을 통한 실증 프로젝트 이후부터는 반복적인 모듈 설계/제작으로 학습효과 창출되며 투자비 절감도 가능하다. 이에 따라 2030년대 초반 기점으로 SMR 상용화 및 경제성 문제도 해소되며 BTM 기저발전원의 역할을 맡게 될 것으로 전망한다.

IV. TerraPower 사이트 방문 후기

당사는 5월 말 미국 와이오밍주에 건설 중인 TerraPower의 Sodium 실증 프로젝트를 직접 방문했다. 이는 미국 차세대 SMR 중에 처음으로 NRC의 상업용 건설허가를 획득한 프로젝트로, 2029년 완공 및 2031년 상업가동 목표로 건설이 진행되고 있다. 현장에서 Chris Levesque CEO 및 실무자들과의 간담회를 통해 미국 정부의 정책적 지원과 사업확대 전략을 확인할 수 있었다. 특히 현재 Meta 등과의 상용화 프로젝트 논의가 본격화되고 있다는 점을 고려했을 때 SMR 상업화 및 2030년대 AI 데이터센터 독립형 발전 인프라 구축 과정에서 기저발전원으로서 역할을 수행할 수 있겠다는 기대감을 가져볼 수 있겠다고 판단했다.

0. 이번 보고서의 배경

AIDC에서 BTM 발전의 궁극적인 방향과 SMR 역할에 대한 고민

궁극적으로는 기저전원 확보를 통한 독립발전 체제 구축 필요

지난 5월 11일 발간한 <AIDC가 여는 온사이트 BTM 발전 시대> 보고서에서는 AI 데이터센터의 부하 특성과 그로 인한 전력시장 변화를 (1)양적확대의 필요성, (2)BTM 발전 확대 관점에서 다루었다. 특히 BTM 발전은 AI 데이터센터에 필요한 '고품질'의 전력을 '단기'에 조달하기 위해서는 도입이 점차 확대될 수밖에 없으며, 단기적으로는 재생에너지+ESS+천연가스 등의 하이브리드 구조로 진행될 것이라는 전망을 언급한 바 있다.

그러나 최근 시애틀과 뉴욕주에서는 향후 1년간 20MW 이상의 신규 데이터센터 건설금지 법안을 통과시켰고, DOE는 전력수급 비상상황 시 PJM이 데이터센터의 백업전원 가동 지시와 전력공급을 축소할 수 있도록 하는 긴급명령을 발동했다. 이는 계통연결을 통한 전력조달이 점점 더 까다로워지고 있음을 시사하고 있어 AI 데이터센터의 독립적인 BTM 발전구조는 더욱 중요해질 것이라는 판단이다.

또한 최근 AI 데이터센터 트렌드 중 하나는 GW 단위로 용량이 확대되고 있다는 것인데, '재생에너지+가스발전+ESS' 조합으로는 전력조달에 한계가 있어 대규모 전력을 안정적으로 공급할 수 있는 기저전원의 역할이 중요해질 전망이다.

TerraPower 방문을 계기로 고민하게 된 중장기적인 SMR 역할

따라서 이번 보고서에서는 향후 BTM 구조의 기저발전원 역할을 맡게 될 것으로 예상되는 SMR에 대해 중점적으로 다뤄보고자 한다. 또한 당사는 지난 5월 말 SK(주), SK이노베이션 주관으로 미국 와이오밍주에 건설 진행 중인 TerraPower의 Kemmerer #1 사이트를 직접 방문하였다.

Kemmerer #1은 미국 차세대 SMR 중 처음으로 NRC(미국원자력규제위원회)의 상업용 건설허가를 받은 프로젝트이다. 2026년 3월 승인 이후 건설이 시작되었고, 2029년 기계적 완공 및 테스트 가동을 실행한 후 2031년부터 상업가동을 시작할 계획이다. 당사는 이번 TerraPower 방문에서 SMR 프로젝트를 총괄하고 있는 Chris Levesque CEO 간담회를 통해 SMR 사업에 대한 미국 전반적인 분위기와 정부의 정책적 지원, TerraPower 프로젝트의 현재 진행상황과 향후 사업방향 등 다양한 이야기도 나눌 수 있었다. TerraPower 방문을 계기로 AI 데이터센터에서 BTM 발전의 궁극적인 방향성과 그 안에서 중장기적으로 SMR이 맡을 수 있는 역할 등에 대해 새롭게 고민하게 된 내용을 이번 보고서에서 다뤄보고자 한다.

I. 이제 AIDC에서 빼놓을 수 없을 BTM 발전

BTM 발전에 대한 데이터센터 개발자들의 인식 변화

'30년 온사이트 기반 데이터센터 비중 전망: '24년 4월 1% → '25년 11월 33%

지난 1~2년 사이 전력시장에서 가장 많이 언급되고 있는 주제는 AI 데이터센터 온사이트 BTM 발전 도입이다. 계통병목 심화로 계통대기 기간이 점점 길어짐에 따라 데이터센터들은 직접 발전소를 가동해 필요한 전력의 일부라도 선제적으로 조달하겠다는 입장이다. 그럼에도 아직까지는 그리드에 의존하지 않고 온사이트 발전으로 데이터센터를 가동하는 비중은 사실상 거의 없다. 계통 연결된 전력이 데이터센터가 사용하는 전체 전력의 99% 이상을 차지하고, 백업전원으로 설치한 디젤발전기는 비상용에 그치고 있다. UPS도 정전 등 전력 수급에 차질이 생겼을 때 디젤발전기가 가동되기 전까지 몇 분간 시간을 벌어주는 역할에 그치고 있다.

그러나 최근 들어 데이터센터 운영자들이 온사이트 발전을 바라보는 시각은 이전 대비 상당히 다르다. Bloom Energy가 2025년 11월 데이터센터 개발자들 대상으로 시행한 설문조사에 따르면, 100% 온사이트 발전소를 통해 운영되는 데이터센터 비중이 2030년 말 기준 33%, 2035년 말에는 44%에 달할 것으로 전망하고 있다.

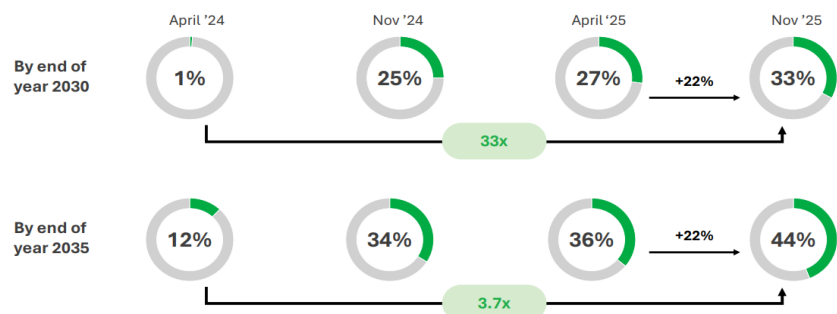
Bloom Energy 설문조사가 처음으로 시행했던 2024년 4월만 하더라도 1%, 12% 각각에 그쳤음을 고려하면 불과 1년 반 만에 이들의 인식이 매우 빠르게 변화된 셈이다. Bloom Energy 설문조사는 6개월마다 반복됐는데, 2024년 11월에 비중이 25%, 34% 내외로 급증했던 만큼 이 시기부터 온사이트 발전에 대한 데이터센터 개발자들의 인식이 본격적으로 바뀌기 시작한 것으로 해석된다. 인식이 바뀐지 2년도 되지 않은 시점으로부터 10년 뒤 100% 온사이트 발전 데이터센터 비중은 절반으로 전망했는데, 이후에도 계통병목과 DOE 규제가 더욱 엄격해지고 있는 만큼 앞으로 이 비중은 추가 상향될 가능성이 매우 높다.

그림1. 온사이트 발전에 대한 데이터센터 개발자들의 인식 변화

Recognized Need for Onsite Power

Developers' expectations of onsite power deployment continue to grow

Expected share of data centers with 100% onsite generation



자료: Bloom Energy, iM증권 리서치본부

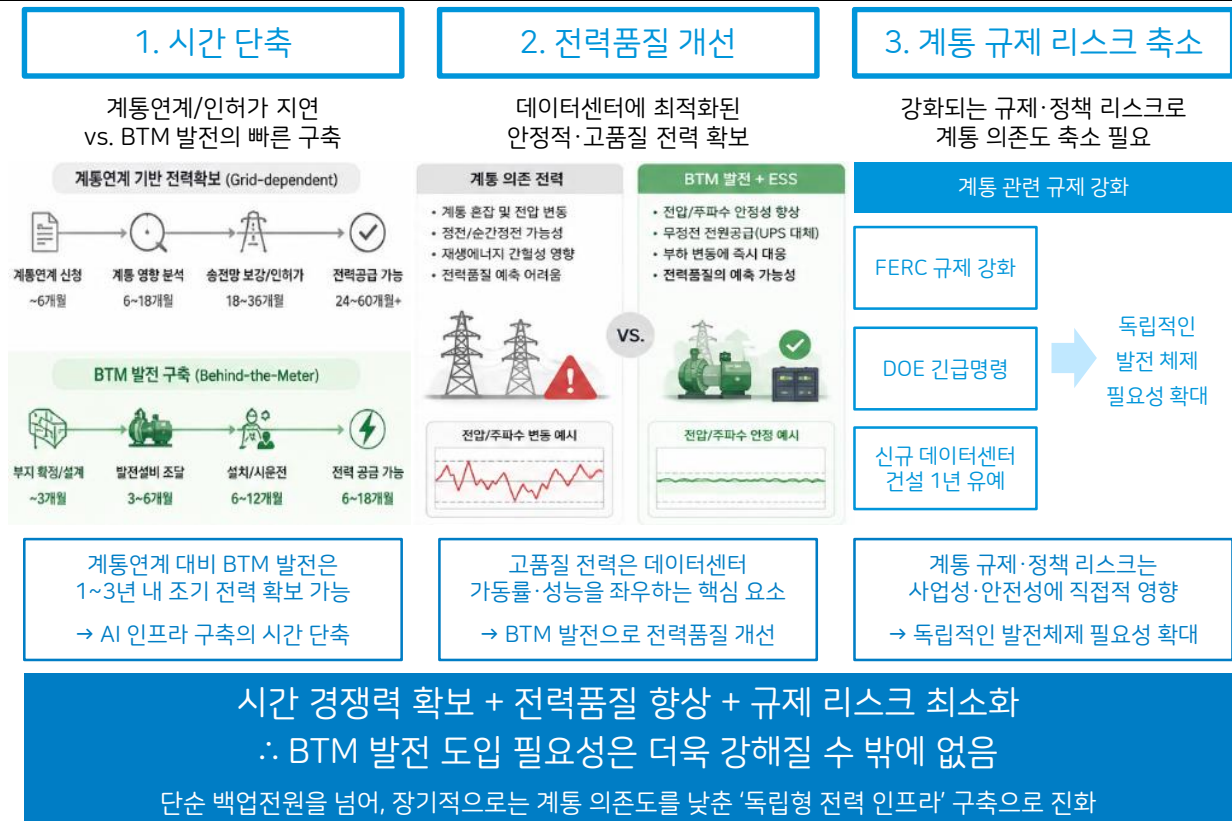
최근 계통규제 강화로 BTM 발전 필요성에 대한 인식은 더욱 강해질 것

이처럼 불과 1~2년 동안 온사이트 발전에 대한 데이터센터 개발자들의 인식이 빠르게 변화한 것은 크게 시간적인 이유와 전력품질 개선의 필요성에 근거했다. 최근 건설되는 데이터센터들은 BTM 구조를 적극적으로 도입하기 시작했으나, 여전히 계통에 대부분 의존할 뿐 보유한 발전소는 백업전원 역할에 그치고 있다.

현재 데이터센터들이 전력 직접조달 수단으로 가장 많이 활용하고 있는 것은 온사이트 발전을 통한 백업전원 확보보다 훨씬 소극적인 개념의 PPA 계약이다. 이는 Constellation, Talen Energy 등 근처에 있는 기존 원전을 재가동하거나 대규모 재생에너지 프로젝트로부터 10~20년간 장기 전력구매를 하는 개념이다.

그러나 코로케이션을 통한 PPA 계약도 결국은 기존의 계통을 활용한다는 점에서 무임승차 논란이 격화되며 FERC 규제가 강화되고 있다. 또한 미국 에너지부는 지난 5월 전력수급 비상상황이 발생했을 때 PJM이 데이터센터들에게 백업전원 가동 지시와 전력 공급을 축소할 수 있도록 하는 권한을 부여하는 긴급명령을 발동했다. 이처럼 시간단축과 전력품질 개선에 대한 필요성 뿐만 아니라, 점점 엄격해지는 계통망 규제 리스크 축소를 위해서라도 계통 의존도를 줄일 수 있는 BTM 발전 필요성에 대한 데이터센터들의 인식은 더욱 강해질 수밖에 없다.

그림2. 데이터센터 BTM 발전 필요성에 대한 인식이 점점 더 강화되는 3가지 배경



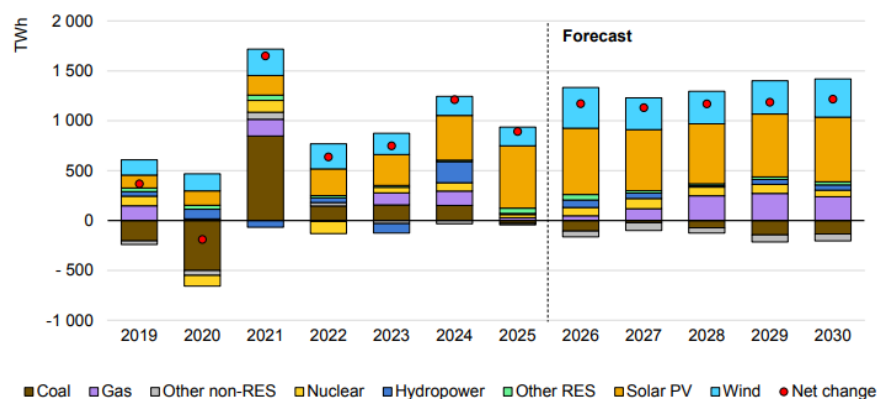
BTM 발전에 대한 인식 변화 배경 1. 계통연결 대기 시간 급증

가스발전과 석탄발전, 원전 등 특정 에너지원을 가리지 않고 모든 발전원에 걸쳐 양적확대가 이뤄지고 있긴 하나, 용량 기준으로 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것은 재생에너지이다. 2019~2024년에는 그나마 석탄발전과 원전, 수력 등 다른 발전원 비중도 컸지만, 2026~2030년까지는 신규 유입 발전원에서 태양광과 풍력 등 재생에너지 비중이 70~80% 달하며 그 비중이 대폭 높아질 것으로 전망된다.

특히 미국의 상황이 인상적이다. 전통적으로 가스발전 비중이 높고 트럼프 2기 행정부 출범 이후 재생에너지에 대한 비우호적인 정책 기조가 점점 더 강화되고 있음에도 불구하고, 2026년 그리드 연결 예정인 유틸리티급 프로젝트 86GW 중 태양광이 51%로 절반을 차지한다. 풍력 14%까지 포함하면 순수하게 재생에너지 유입만 65% 달하고, 이들의 보조수단으로 설치되는 저장설비 28%까지 감안하면 사실상 신규 발전원의 대부분이 '재생에너지+ESS' 형태가 되는 셈이다.

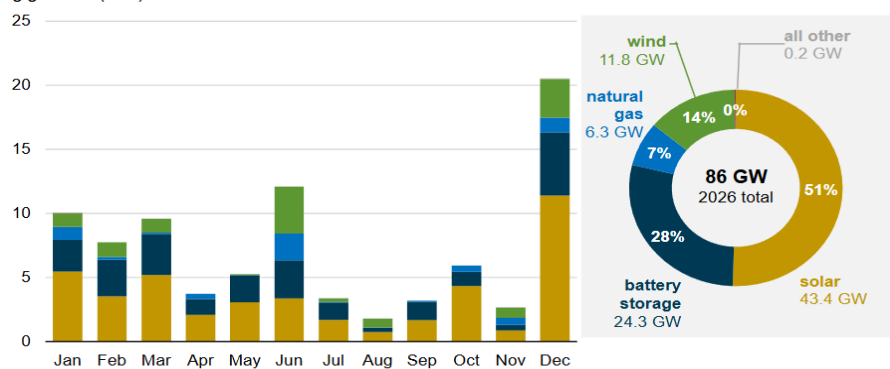
그림3. 2019~2030년 글로벌 발전원별 유입 규모

Year-on-year global change in electricity generation by source, 2019-2030



자료: IEA, iM증권 리서치본부

그림4. 미국 내 2026년 그리드 연결 예정인 유틸리티 규모 프로젝트 발전원별 비중

U.S. planned utility-scale electric generating capacity additions (2026)
gigawatts (GW)

자료: EIA, iM증권 리서치본부

재생에너지와 송전망 투자의 물리적 시차로 계통대기 급증할 수밖에

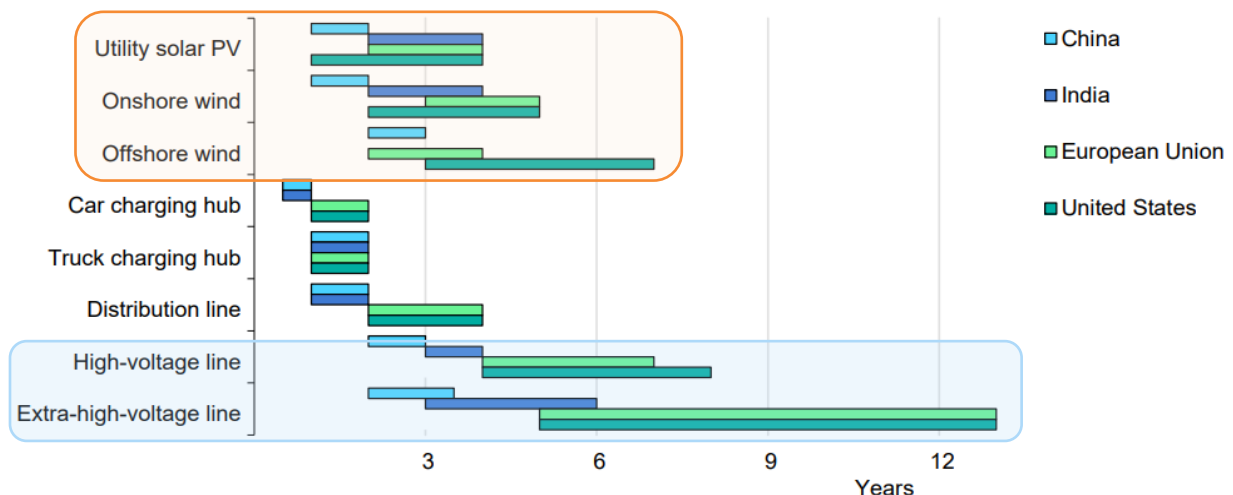
연료 투입으로 출력제어가 가능한 전통 발전원들과 달리, 재생에너지는 일조량과 풍속, 풍향 등에 따라 발전량이 크게 달라지기 때문에 구조적으로 기후에 민감할 수밖에 없다. 이에 재생에너지 발전소의 경제성이 확보될 수 입지는 제한적인데, 통상 전력 수요가 밀집된 지역과는 거리가 있는 편이다. 따라서 송전망에 대한 더 많은 투자가 요구되는데, 재생에너지 프로젝트 건설과 송배전망 설치에 소요되는 기간이 달라서 물리적으로 발전소와 송전망이 동일한 속도로 증가할 수는 없다.

예를 들어, 미국에서 유틸리티 규모 태양광 발전소를 건설할 경우 평균 1~4년, 육상풍력은 2~5년이 소요되는 반면, 고압전선은 4~8년, 초고압전선은 5~13년 정도가 소요된다. 그나마 배전라인은 2~4년 내에도 설치할 수 있긴 하나, 송전망 구축이 되지 않으면 배전망이 먼저 완공된다 하더라도 실제 계통연결 측면에서는 한계가 있다. 국가마다 인허가 및 파이낸싱, 규제 등 전반적인 프로세스에 따라 세부 기간의 차이는 있지만, 중국과 인도, 유럽 등에서도 재생에너지 발전소가 완공되는 것보다 송전망 구축이 훨씬 더 오래 걸린다는 점은 동일하다.

기저발전원을 건설하는데는 석탄발전이 최소 3~5년, 원전이 7년 이상 소요되는 만큼 그나마 송전망 투자와 비슷한 호흡으로 갈 수 있지만, 신재생에너지는 건설 속도가 상대적으로 훨씬 빨라 속도 불균형이 생길 수밖에 없는 구조이다.

그림5. 주요 국가별 재생에너지 발전소 건설 및 송배전망 구축에 소요되는 기간 비교

Typical deployment time for electricity grids, solar PV, wind and EV charging stations



자료: IEA, iM증권 리서치본부

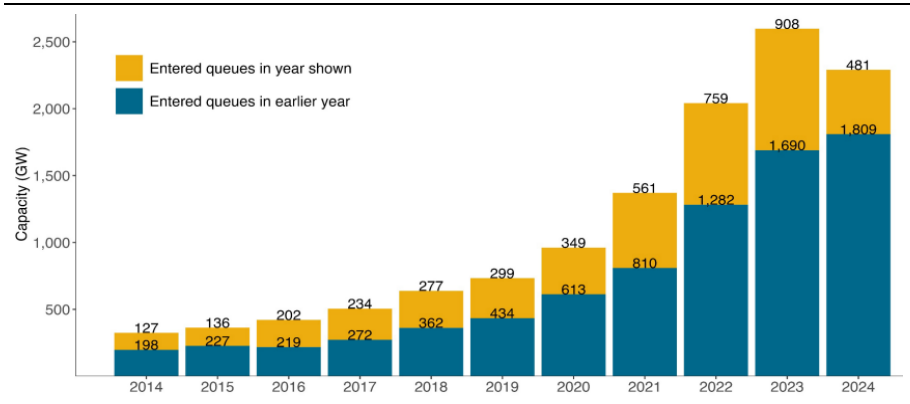
계통대기 심화로 대부분 발전소가 당초 계획 대비 상업가동 지연 불가피

이처럼 태양광과 풍력 중심으로 신규 발전설비가 대거 유입되고, 송전망 확대가 발전설비 확대 속도를 따라가지 못하며 계통병목 현상이 점점 더 심화되고 있다. 2023년에는 미국 내 계통대기 발전설비 용량이 2.6TW로 역대 최대치에 달했다.

계통대기 용량이 급증하자 PJM에서는 2026년까지 신규 계통대기 접속 신청을 전면 중단하였고, MISO는 2023년 요청분을 2024년으로 연장하는 등 전반적인 행정 절차가 중단 또는 지연되었다. 또한 부하 변동성이 큰 데이터센터의 접속이 집중됨에 따른 전력망 안전성 훼손과 무임승차 등의 문제로 FERC 규제도 한층 까다로워졌다. 이에 일부 프로젝트는 계통연결을 철회 또는 재검토하면서 2024년 기준 계통대기 용량은 2.3TW로 10년 만에 처음으로 -12% 감소했다. 그럼에도 지난 2014년 이후 계통대기 용량과 비교하면 여전히 압도적인 규모이다.

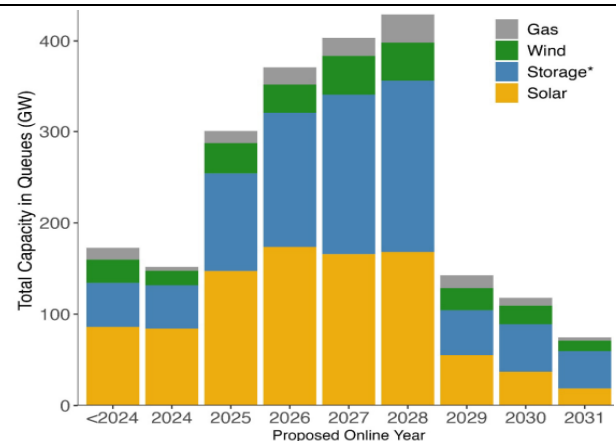
계통대기 중인 설비의 61%는 2028년 이전 상업가동 개시를 목표로 제출했으나, 접속계약을 체결 또는 확정 직전인 프로젝트는 18%에 불과하다. 이는 상당수의 발전소는 당초 계획보다 계통연결 지연 가능성이 매우 높다는 것을 시사한다.

그림6. 미국 2014~2024년 계통대기 용량 추이



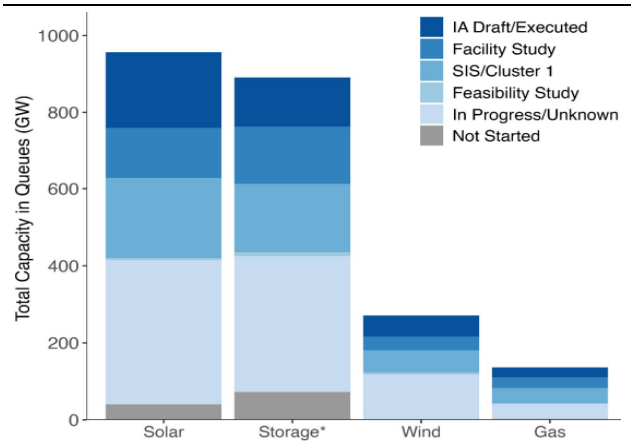
자료: Berkeley Lab, iM증권 리서치본부

그림7. COD 시기별 계통대기: 2028년 이전 COD 타겟 61%



+자료: Berkeley Lab, iM증권 리서치본부

그림8. 계통대기 발전원들 단계별 비중: IA 진입 단계 18% 불과



자료: Berkeley Lab, iM증권 리서치본부

데이터센터 입장에서 그리드 연결을 하염없이 기다릴 순 없어

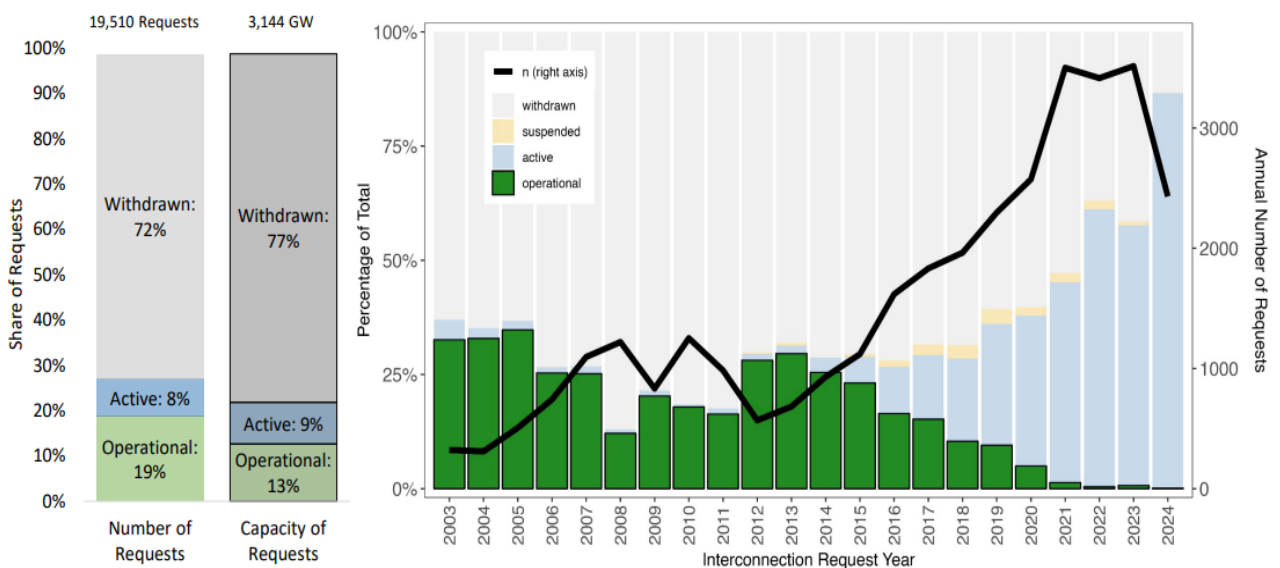
실제로 2000~2019년에 계통연결을 신청한 프로젝트 중 19% 정도만 2024년 말 기준 실제 상업운전에 도달했다. 여전히 대기 상태로 머물러 있는 발전소도 일부 있지만, 최소 50% 이상은 이미 철회 또는 중단한 것으로 파악된다. 연결되어야 하는 프로젝트가 많이 남은 상황에서 매년 신규 접속신청이 급증하고 있는 만큼 현 상황이 좀처럼 해결되진 쉽지 않아 보인다.

이 같은 상황은 글로벌 전체적으로도 동일한 방향이다. 그러나 국가별로는 미국, 그리고 미국 내에서도 지역별 심각성은 사뭇 다르다. 미국 각 지역별 계통대기는 재생에너지 발전에 이상적 환경을 갖춘 서부와 최근 데이터센터 건설이 집중되고 있는 ERCOT, CAISO, MISO 중심으로 급증하고 있다.

시간적 측면에서 손실을 막기 위한 최선의 방법은 온사이트 BTM 발전 도입

이에 최근 캘리포니아와 버지니아에서는 신규 데이터센터가 그리드에 연결되는데 각각 3년, 7년 내외까지도 소요되는 등 미국 평균 1~3년 대비 훨씬 길다. 최대한 빠른 시일 내에 전력을 확보해서 데이터센터를 가동해야 하는 하이퍼스케일러들 입장에서는 그리드 연결을 기다리는 동안 기회비용이 급증하는 셈이다. 따라서 시간적 측면의 손실을 막기 위해서는 그리드를 거치지 않고 전력을 직접 조달할 수 있는 BTM 방식을 통해 필요한 전력의 일부라도 확보해야만 하는 상황이다.

그림9. 미국 2003~2024년 연도별 계통대기 용량 중 실제 상업가동, 대기, 중단, 철회 비중 추이



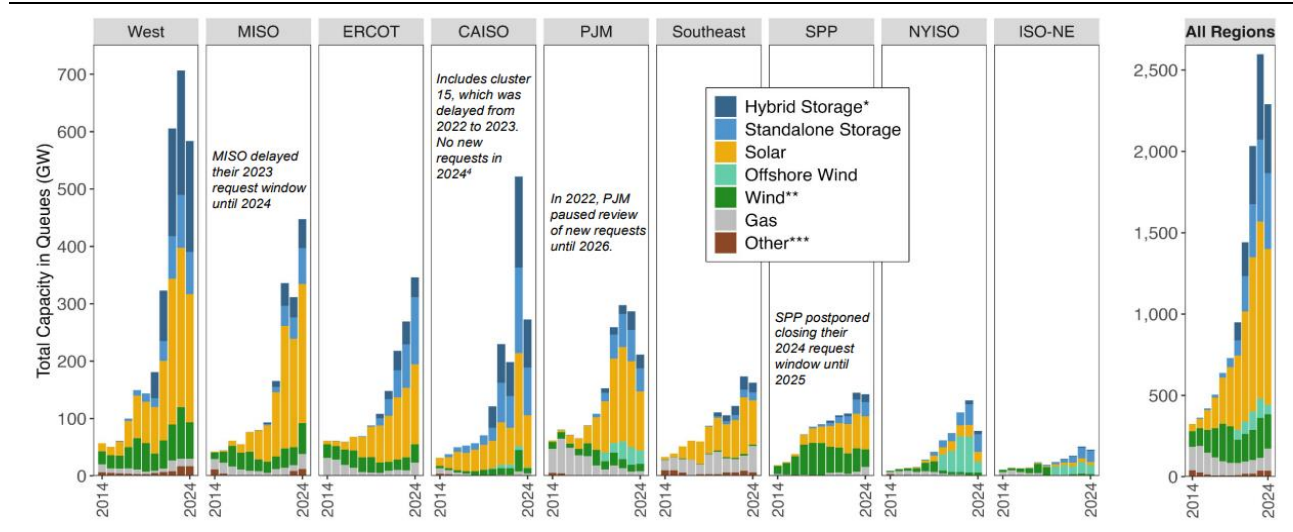
자료: Berkeley Lab, iM증권 리서치본부

표1. 주요 국가(지역)별 최근 신규 데이터센터 계통연결에 소요된 평균 기간

국가 or 지역	최근 계통연결에 소요된 평균 기간	국가 or 지역	최근 계통연결에 소요된 평균 기간
미국	1~3년	일본 간토 지역	5년 이상
미국 버지니아 북부	최대 7년	말레이시아	3년 미만
미국 캘리포니아	3년	호주 퀸즐랜드	2년 이상
독일	최대 7년	이탈리아	3년 미만
영국	5~7년	스페인	3~5년
네덜란드	최대 10년	아일랜드 (더블린)	2030년까지 신규 접속 중단

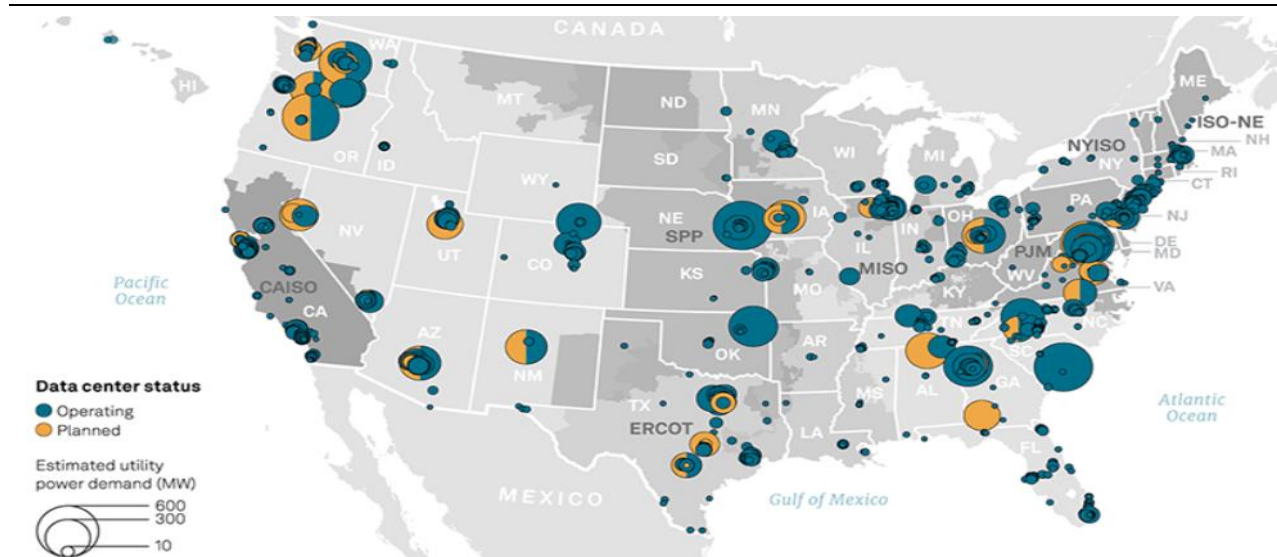
자료: EIA, iM증권 리서치본부

그림10. 2014~2024년 미국 전력시장 주요 권역의 발전원별 계통대기 물량 추이



자료: Berkeley Lab, iM증권 리서치본부

그림11. 2024년 기준 미국 각 지역별 운영 중인 데이터센터 및 운영 계획 중인 데이터센터 용량



자료: S&P, iM증권 리서치본부

BTM 발전에 대한 인식 변화 배경 2. 데이터센터의 고품질 전력 요구

일반 산업용 대비 상당히 까다로운 고품질 전력을 요구하는 AI 데이터센터

AI 데이터센터는 일반 산업용 대비 더 안정적이고 고품질 전력으로 빠르게 부하 변동에 대응해야 한다. 이는 AI 학습과 추론이 일반적인 서버 워크로드보다 훨씬 높은 전력밀도를 요구하고, 부하변화 속도도 빠르다는 특성에 기인한다. 특히 대규모 GPU 클러스터는 동시다발적인 연산 개시와 모델 로딩, 냉각 시스템 연동 등으로 인해 순간 전력수요 변동 폭이 크다. 이와 같은 전력수요 특성으로 인해 AI 데이터센터는 전력 공급량이 충분하더라도 일시적인 전압강하 또는 주파수가 흔들리는 등의 현상이 나타날 때 연산 환경은 곧바로 불안정해질 수 있다.

또한 AI 데이터센터 연산 장비의 자체적인 민감성이 높다는 점도 고품질 전력을 요구하는 이유이다. 고성능 GPU와 ASIC은 미세공정 반도체와 고속 인터커넥트, 고집적 전력 변환 모듈을 기반으로 작동한다. 이로 인해 전압 강하와 스파이크, 고조파, 순간 정전 등과 같은 전력품질 이상에 매우 민감하다. 일반적인 제조업 설비의 경우 전압강하는 일부 생산성 저하에 그치겠지만, AI 데이터센터에서는 연산 오류와 서버 리셋, 메모리 오류 증가, 네트워크 동기화 실패, 학습 작업 중단 등으로 이어질 수 있다. 특히 대형 AI 클러스터는 수만개의 연산 노드가 병렬로 연결되어 있기 때문에 일부 전원 이상은 국소적인 문제에 그치지 않고, 전체적인 작업의 재시작이나 효율 저하를 유발할 가능성이 높다.

표2. AI 데이터센터용 연산 반도체(CPU, GPU, ASIC) 비교

구분	CPU	GPU	ASIC
주요 업무	운영 체제, 데이터 처리, 네트워크 관리 등	AI 학습·추론	AI 학습·추론
역할	시스템 제어 및 범용 연산 (서버의 두뇌)	AI 연산 가속기	특정 AI 작업 전용 가속기
범용성	매우 높음	중간	낮음
연산 방식	순차 처리	대규모 병렬 처리	특정 알고리즘 최적화
칩당 소비전력	낮음~중간 (200~500MW)	높음 (700~1500MW)	중간~높음(설계에 따라 상이)
대표 사례	Xeon, EPYC	H100, B100, MI300	TPU, Trainium, Inferentia
중요도 변화	상대적 감소	급격한 증가	장기적으로 확대 예상
AI 데이터센터 내 중요도	필수	매우 높음	점진적 확대
대표 사례	Xeon(Intel), EPYC(AMD)	H100/B100(NVIDIA), MI300(AMD)	TPU(Google), Trainium/Inferentia(AWS)

자료: iM증권 리서치본부

표3. AI 데이터센터의 주요 전력품질 이슈

전력품질 이슈 항목	구체적인 현상	데이터센터 영향	중요도
순간 정전 (Momentary Outage)	수 ms~수 초 동안 전력 공급이 완전히 중단	서버 다운, GPU 클러스터 학습 중단, 데이터 손실	★★★★★
전압 강하 (Voltage Sag)	전압이 순간적으로 정격 이하로 하락	서버 재부팅, GPU 오류, UPS 개입	★★★★★
주파수 편차 (Frequency Deviation)	전력 수급 불균형으로 주파수 변동	서버·UPS 안정성 저하, 보호장치 동작	★★★★☆
고조파 왜곡 (Harmonic Distortion)	인버터·UPS·SMPS 부하로 파형 왜곡	발열 증가, 장비 수명 저하	★★★★☆
전압 스파이크 (Voltage Spike)	낙뢰·스위칭에 의한 순간 과전압	전력전자 장비 손상 위험	★★★☆☆
플리커 (Voltage Flicker)	반복적인 전압 변동	전력품질 저하, 효율 감소	★★☆☆☆

자료: iM증권 리서치본부

일반 산업 평균으로 설계된 그리드는 데이터센터 조건을 충족시키기에 역부족

현재 통상적으로 사용하고 있는 일반 그리드는 전력품질 측면에서 데이터센터가 요구하는 까다로운 조건을 온전히 충족시키기 어렵다. 데이터센터 전용 변전소와 회선을 구축하는 방법도 있지만 시간과 비용이 추가 투입돼야 하고, 무엇보다 이 역시 데이터센터에서 요구하는 전력품질을 온전히 충족시키기에는 한계가 있다.

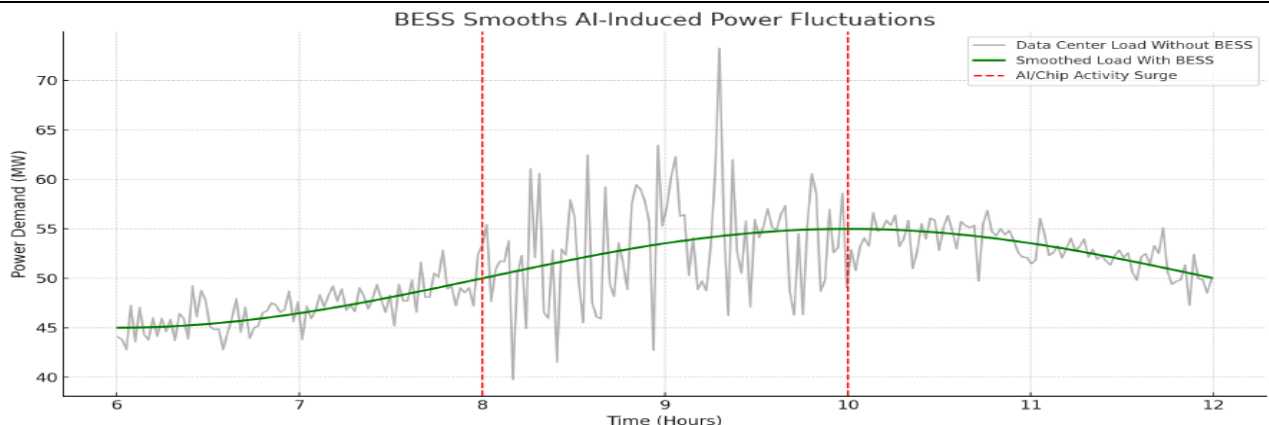
최근 데이터센터가 그리드 전력공급보다는 BTM 발전을 통해서 원하는 조건으로 전력공급 환경을 직접 설계해 조달받는 구조를 도입하는 이유이다. 데이터센터는 단순히 대용량의 전력을 사용할 뿐 아니라, GPU/AISC 기반 고밀도 연산부하로 전력 변동성이 커 전압과 주파수 안정성, 순간 정전대응 등에서 일반 산업용 대비 높은 수준의 전력품질을 필요로 한다. 가령, 일반 산업에서는 아주 잠깐 전압이 10~30% 하락하는 전압강하가 치명적이지는 않지만 데이터센터는 서버 리셋이나 GPU 연산 오류 등을 유발할 수 있다. 순간정전도 통상 허용 가능 범위에 있으나, 데이터센터는 거의 무정전의 수준을 요구한다.

UPS+ESS로 잠깐의 대응은 가능하나, 계통 불안정 장기화에는 물리적 한계 존재

그러나 현재 운영되고 있는 그리드는 일반 산업에서 요구하는 평균적인 안정성을 기준으로 설계되어 있기 때문에 데이터센터가 필요로 하는 전압과 주파수 변동, 고조파, 순간 정전 대응 등의 품질 이슈를 완전히 해소시키기에는 물리적 한계가 존재한다. 또 한편으로는, 데이터센터의 대용량 및 큰 부하변동과 같은 전력 수요 특성이 전력망 전체의 부담을 증가키면서 계통 안정성을 저하시키고 있다.

이에 데이터센터는 UPS로 전력을 AC→DC→AC 형태로 변환해 전압 안정화 및 고조파를 제거하고, ESS로 순간 부하변동과 단기 정전에 대응하는 구조를 갖추고 있다. 다만, UPS와 ESS로 잠깐의 대응은 효과적이지만, 전력 공급중단 또는 계통 불안정 장기화에는 물리적인 한계가 있다. 따라서 ESS 활용 외에도, BTM을 통해 그리드 밖에서 전력을 안정적으로 공급받을 수 있는 구조를 갖출 필요가 있다.

그림12. 부하 변동성이 큰 AI 데이터센터의 전력 소비, 그리고 이를 완화시키는 역할의 BESS



자료: Fluence energy, iM증권 리서치본부

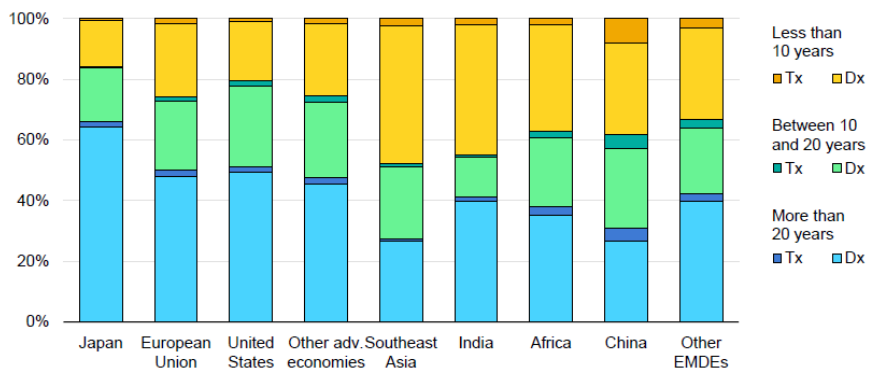
송전망 노후화도 그리드를 통한 데이터센터 운영의 잠재적 리스크로 작용

현재 미국과 유럽, 일본 등 선진국에서 운영되고 있는 송배전망 중 사용된 기간이 10년 미만인 그치는 비중은 20% 남짓에 불과하고, 20년 이상된 설비는 50%를 상회한다. 그러나 선진국들의 대규모 전력망 건설을 위한 투자가 1960~1980년 사이에 주로 본격화되었던 점을 고려하면, 20년 이상된 설비 중에서도 실질적으로 약 40~50년 이상 운영된 송전망의 비중이 상당히 높을 것으로 추정된다.

일반적으로 지중케이블과 지상 송전선의 설계수명은 40~60년, 변압기와 차단기 등 변전설비는 30~40년 내외에 달한다. 이에 근거하면 사실상 현재 계통망 관련 인프라의 상당부분이 노후화됐음을 시사한다. 전력망 노후화는 최근 들어 정전이 점점 더 빈번하게 발생하고 있는 것과 무관하지 않은데, 그리드 통해서만 전력을 공급받게 될 경우 데이터센터는 정전 리스크에서 결코 자유로울 수 없다.

그림13. 주요 국가별 송전망 운영 기간별 비중 (2021년 기준)

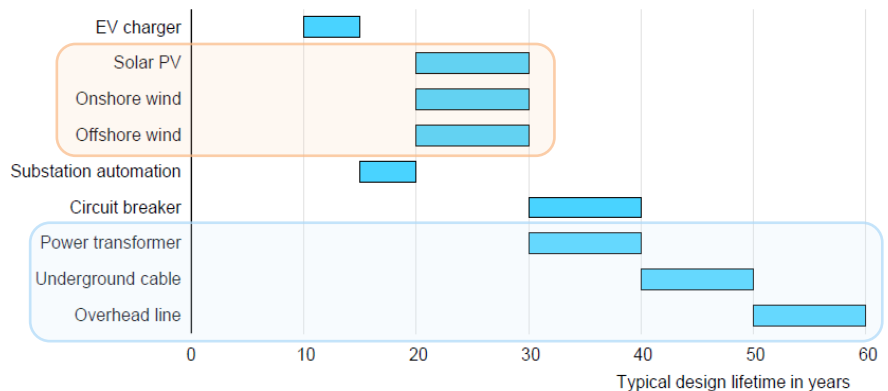
Share of grid length by age by country/region, 2021



자료: IEA, iM증권 리서치본부

그림14. 신재생에너지(태양광, 풍력) 및 송전선망 설계수명 비교

Typical design lifetimes for high-voltage equipment, solar PV, wind and EV charging stations



자료: IEA, iM증권 리서치본부

BTM 발전에 대한 인식 변화 배경 3. 계통규제 리스크 확대

일반 산업시설 대비 전력소비 양적확대 관점에서 두드러지는 AI 데이터센터

AI 데이터센터는 고품질의 전력을 요구하기 이전에 일반 산업시설 대비 전력소비 규모가 매우 크다. 이들의 양적확대는 신규 데이터센터 수가 늘어나는 것을 넘어 데이터센터가 수행하는 컴퓨팅 성격이 본질적으로 변화하고 있다는 영향이 크다. 과거에는 데이터센터가 CPU 기반 웹 서비스, 클라우드, 스토리지 등을 처리하는 범용 인프라였다면, AI 데이터센터는 GPU와 AI 가속기, HBM, 고속 네트워크, 대규모 냉각 설비가 결합된 초고밀도 컴퓨팅 인프라다. 동일한 데이터센터라도 내부에 들어가는 연산 장비와 가동률에 따라 전력 소비량은 완전히 달라진다.

이처럼 AI 데이터센터 전력수요 증가의 가장 직접적인 물리적 원인은 하드웨어의 구조 변화이다. 웹 서비스와 클라우드, 스토리지 중심의 전통적인 CPU 서버는 범용 연산과 직렬 처리에 강점을 가진다. 반면, AI 학습과 추론의 핵심 연산은 대규모 행렬곱이며, 행렬곱은 수많은 연산 유닛을 동시에 가동하는 병렬 연산에 적합하다. 이를 위해 GPU와 AI 가속기가 사용되는데, 이 과정에서 칩 하나가 소비하는 전력은 CPU 서버 시대보다 훨씬 커진다. 가령, 전통적인 CPU 서버의 소비전력은 보통 1~2kW 수준이었으나, NVIDIA DGX H100은 10kW, B200은 14kW, 차세대 GB300급은 14.5kW 이상으로 증가했다. 또한 일반 데이터센터 랙이 5~20kW 수준이었던 반면, AI 데이터센터 랙은 40~120kW 이상, 차세대 랙에서는 200kW 이상까지 상승할 수 있다. 이는 동일한 랙 공간에서 요구되는 전력량이 구조적으로 상승하고 있음을 의미한다.

따라서 데이터센터 전력수요를 바라보는데 있어 데이터센터 갯수와 그 용량 뿐만 아니라, 어떤 종류의 컴퓨팅 장비가 얼마나 높은 가동률로 들어가는지 또한 매우 중요하게 고려해야 한다. AI 데이터센터 전력수요 증가는 1차적으로 데이터센터 양적확대에서 출발하지만, 본질적으로는 컴퓨팅 구조의 질적 변화가 전력 소비의 양적 증가로 전환되는 과정에 근거한다.

표4. CPU 서버 vs. GPU 서버 전력 사용량

시스템	DGXA100	DGX H100	DGX H200	DGX B200	DGX B300	DGX Rubin NVL8
출시일	1H20	2H22	1H24	2H24	2H25	2H26
GPU	8xA100	8xH100	8xH200	8x Blackwell	8x B300 Blackwell U	8x Rubin
시스템 전력	~6.5kW	~10.2kW	~10.2kW	~14.3kW	~14.5kW	~24kW
CPU 서버 대비 전력	2.7배	4.2배	4.3배	6.0배		10.0배
메모리 대역폭	2.0TB/s	3.35TB/s	4.8TB/s	7.7TB/s	8TB/s	22TB/s
전원·냉각 인프라	6x PSU 840 CFM	6x PSU 1,105 CFM	6x PSU 1,105 CFM	6x PSU 1,550 CFM	12x PSU (busbar) 1,350~1,500 CFM	TBD

자료: NVIDIA, iM증권 리서치본부

주: CPU 서버는 LBNL(2024.12)에서 사용한 8개 프로세서를 작정한 시스템 전력 평균 2.4kW 적용

* PSU: Power Supply Unit. GPU의 전원 공급 장치이자 안정적 작동의 핵심

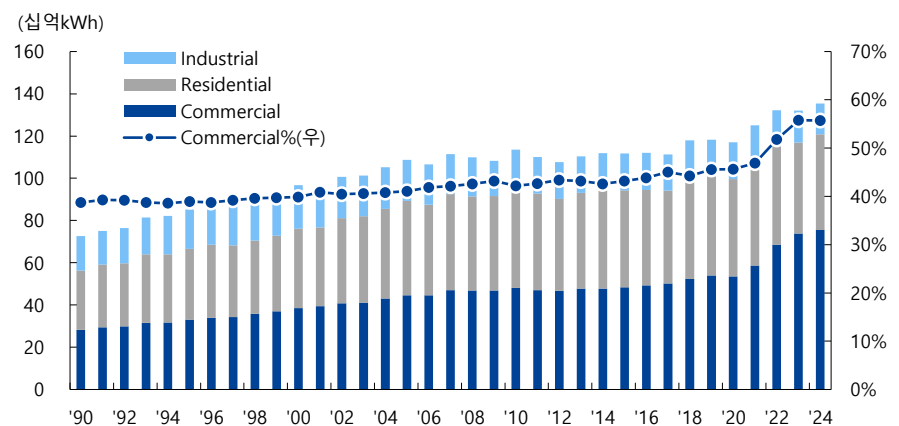
* CFM: Cubic Feet per Minute. 수치가 높을수록 더 많은 바람을 일으켜 GPU 냉각 성능 강화

이미 미국 전력수요의 약 20~30% 차지하고 있는 데이터센터들

이처럼 일반 산업시설 대비 전력수요의 양적확대가 두드러지는 AI 데이터센터가 빠르게 늘어나면서 계통혼잡과 운영 불안정성이 점점 심화되고 있다. 특히 미국 내에서도 데이터센터가 집중된 버지니아는 상업용 전력 수요에서 데이터센터가 차지하는 비중이 56%로 절반을 넘어섰고, 전체 전력 수요에서도 25% 달하는 등 데이터센터 전력수요 급증으로 인한 계통부담이 심각한 편이다.

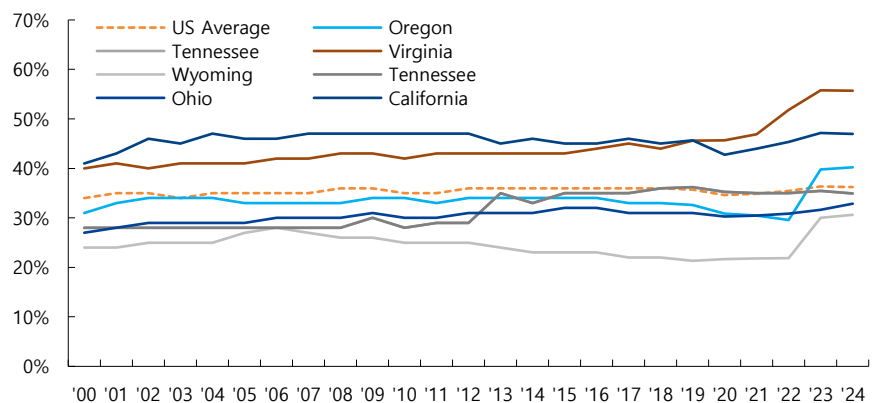
버지니아 외에도 데이터센터 밀집도가 높은 캘리포니아와 오레곤, 오아히오 등의 주에서도 상업용 전력수요 중 데이터센터 비중이 40~55% 내외에 달한다. 미국 평균 36% 대비 확실히 높은 수준이다. 통상적으로 미국 내에서는 상업용 전력이 약 50~55% 수준을 차지한다는 점을 감안하면, 데이터센터에서 소비되는 전력은 전체 전력의 20~30% 내외에 달하는 셈이다. 적어도 2030~2035년까지는 주요 빅테크들이 신규 데이터센터 건설 및 용량 확대를 계획하고 있는 만큼 앞으로 미국 전력수요에서 데이터센터가 소비하는 비중은 더 높아질 수밖에 없다.

그림15. 미국 버지니아주 부문별 전력소비 규모 및 상업용 비중 추이



자료: Orennia, iM증권 리서치본부

그림16. 미국 주요 주(州) 상업용 전력소비 비중 추이



자료: Orennia, iM증권 리서치본부

점점 까다로워지고 있는 규제: PJM 개입 권한을 대폭 강화하는 DOE 긴급명령

데이터센터 밀집도가 높은 일부 지역에서는 전력계통 운영 안정성의 위험이 점점 높아지고 있다. 그 중에서도 특히 버지니아와 오하이오의 상황이 심각한데, 이들 지역이 포함된 PJM은 2026년 5월 17일 DOE에 전력수급 비상상황에 대비할 수 있는 비상명령 Section 202 발동을 요청했고, DOE는 5월 18일 이를 승인하였다. 이에 따라 PJM은 전력수급 비상상황이 발생했을 때 데이터센터가 보유하고 있는 백업발전기 가동을 지시할 수 있을 뿐 아니라, 정전 직전으로 가장 심각한 단계인 EEA3(Energy Emergency Alert) 전후에는 데이터센터의 계통전력 공급을 축소할 수 있는 권한을 갖게 되었다.

이번 DOE 명령은 향후 계통 비상상황이 발생했을 때 데이터센터 대규모 부하에 대한 제약이 확대될 수 있음을 시사한다. 특히 신규 발전 및 송전망 유입 속도가 전력수요 증가 속도를 따라가지 못하고 있는 만큼 계통혼잡도는 점점 높아지며 EEA 상황은 더욱 빈번해질 수밖에 없다. 이에 따라 하이퍼스케일러들은 앞서 언급한 바 같은 전력확보에 소요되는 시간 단축과 전력품질 개선을 넘어서, 계통 리스크를 축소하기 위해서라도 독립적으로 운영할 수 있는 BTM 발전체제 구축에 더욱 적극적으로 나설 것이라 예상된다.

그림17. DOE, PJM에 데이터센터 백업전원 가동 지시 및 계통전력 공급축소 권한 부여(5/18)

US PJM grid can curb data center power usage in emergencies, Department of Energy says

By Laila Kearney
May 20, 2026 2:43 AM GMT+9 · Updated May 20, 2026

3.3.1 Energy deficient Balancing Authority obligations. The energy deficient Balancing Authority, upon notification from its Reliability Coordinator of the situation, will immediately take whatever actions are necessary to mitigate any undue risk to the Interconnection. **These actions may include Load shedding.**

Based on my determination of an emergency set forth above, I hereby order:

- A. From May 18, 2026, **PJM is authorized to direct backup generation resources at data centers** (including, but not limited to, hyperscaler facilities), and at other large load industrial and commercial customer sites (whether auxiliary, standby, directly-connected, battery storage or other, and whether synchronized or not to the bulk power system), to operate as a last resort before declaring an Energy Emergency Alert (EEA) 3 (i.e., before firm load interruption) or during an EEA 3.²⁹ PJM is authorized to call upon its Transmission Owners and Electric Distribution Companies to implement this order as

미국 신규 데이터센터 건설금지 움직임 확대(feat. 시애틀시, 뉴욕주)

계통 규제를 넘어 최근 최근 일부 주에서는 신규 데이터센터 건설을 일시적으로 중단 또는 제한하는 움직임까지 나타나고 있다. 대표적으로 시애틀 시의회에서는 신규 데이터센터 건설 유예 법안이 지난 6월 9일 만장일치 통과됐다. 이에 따라 향후 1년 동안 20MW 이상 데이터센터 개발이 금지되고 이 조치는 6개월 추가 연장될 수 있다. 뉴욕주에서도 6월 4일 20MW 이상의 신규 데이터센터 인허가 중단 법안이 의회를 통과했고, 현재 주지사 서명 대기 중이다.

그 외에도 2026년 6월까지 버지니아와 미시간 등 총 16개 주에서 데이터센터 모라토리엄 법안 발의했거나 검토 중이다. 이들은 짧게는 3개월에서 길게는 최대 4년까지 건설 제한을 제시하고 있다. 현재까지 의회에서 통과된 곳은 시애틀시와 뉴욕주에 그치지만, 전력계통 부하와 용수 사용량 급증, 공공요금 인상 등과 같은 사회적 문제가 확산되고 있는 만큼 모라토리엄은 추가로 이어질 가능성이 높다.

그러나 AI 도입 확대가 변함없는 방향성이라면, 데이터센터 개발자들은 오히려 계통연결 리스크를 줄이기 위해 최대한 많은 양의 전력을 자체적으로 조달하는 방안을 더 절실하게 고민할 수밖에 없다. 이는 향후 AI 데이터센터 전력 구축에 있어서 BTM 체제가 훨씬 더 적극적으로 채택될 것임을 의미한다.

다만, 지금까지는 BTM 발전이라 하더라도 그 역할은 단순히 백업전원에 그치고 여전히 그리드 의존이 압도적으로 높기 때문에 계통 규제에서 벗어나기 위해서는 근본적으로 독립발전이 가능한 구조를 갖춰야 한다. 특히 MW에서 GW 단위로 데이터센터 용량이 확대되는 상황에서는 ‘재생에너지+가스발전+ESS’ 조합만으로 대용량 전력을 안정적으로 조달하는데 분명 한계가 있다. 따라서 중장기적으로는 기저전원 역할을 맡을 수 있는 SMR, 연료전지 조합이 동반될 것으로 판단한다.

표5. 2026년 6월까지 미국 데이터센터 건설 모라토리엄 법안 발의한 16개 주(州) 및 현재 진행상황 (시애틀은 추가 아닌 시라서 미포함)

주(州)	법안명	데이터센터 모라토리엄 관련 법안 주요 내용	현재 진행상황
New York	AB 10141 / SB 9144	20MW 초과 데이터센터 건설 1년 모라토리엄	주의회 통과
Georgia	HB 1059	2028년 12월까지 지방정부의 신규 데이터센터 인허가 금지	발의
Michigan	HB 5594 / HB 5595	2027년 4월까지 신규 데이터센터 승인 금지	발의
Pennsylvania	SB 1359 / HB 2533	영향평가 실시와 함께 3년 모라토리엄 또는 지방정부의 금지 권한 부여	발의
South Carolina	H 5526	주 차원의 감독체계 마련 전까지 데이터센터 승인 금지	발의
Vermont	S 205	2030년까지 모라토리엄 및 영향평가 의무화	발의
Virginia	HB 1515	계통연계 대기용량 해소 또는 2028년 7월까지 신규 승인 중단	계속 심의 중
Maryland	HB 120	신규 데이터센터 건설 및 인허가 금지	부결
Minnesota	HB 4888 / SB 4298	전력영향 평가 완료 시점(최소 2027년 7월)까지 신규 인허가 중단	부결
New Hampshire	HB 1265	신규 데이터센터 건설 1년 모라토리엄	부결
Oklahoma	SB 1488	2029년 11월까지 신규 데이터센터 건설 모라토리엄	부결
South Dakota	SB 232	데이터센터 건설·중설 1년 모라토리엄	부결
Wisconsin	SB 1061 / AB 1099	14개 조건 충족 전까지 데이터센터 운영 금지	부결
Maine	LD 307	20MW 초과 데이터센터 건설을 2027년 11월까지 중단	주지사 거부권

자료: NCSL(National Conference of State Legislatures), iM증권 리서치본부

II. 중장기 BTM 발전의 과제: 기저전원 확보

궁극적으로는 독립발전 체제 구축이 필요

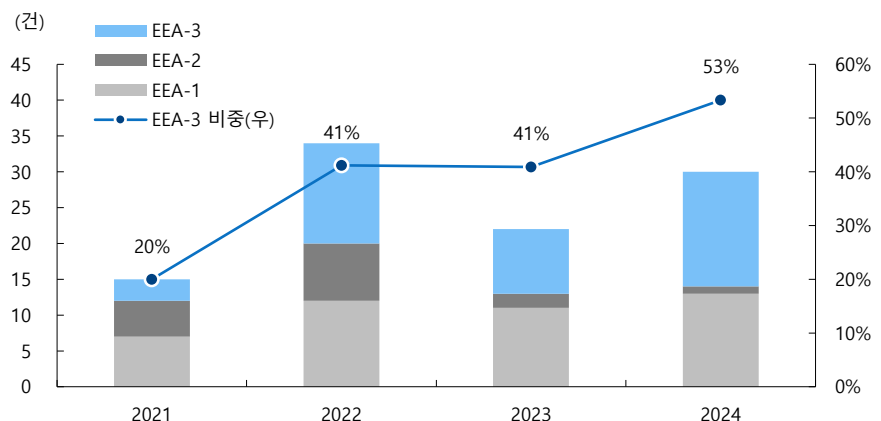
계통혼잡 심화될수록 전력공급 축소는 더 빈번해질 수밖에 없어

현재 AI 데이터센터가 전통적인 계통연결 외에 전력을 직접 조달하는 수단으로 가장 많이 활용하고 있는 것은 PPA 계약이다. 그러나 PPA 계약은 발전소를 보유하고 있는 특정 업체와 일정 기간 동안 미리 합의한 가격에 전력을 공급받는 것일 뿐, 기존 전력망 등의 인프라를 활용한다는 점은 동일하다. 이는 BTM 발전 도입의 주요 목적 중 하나인 시간 단축은 일부 충족할지 몰라도, 전력품질 개선 및 계통망 규제 리스크 측면에서는 여전히 자유로울 수 없다.

또한 AI 데이터센터 전력수요가 증가할수록 계통 혼잡도가 심화되며 출력제한과 수요제어 등의 개입이 더욱 빈번해질 수밖에 없다. 미국 서부지역에서는 2021년 이후 에너지 비상상황인 EEA 발생 건수가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 그 중에서도 정전 직전의 가장 심각한 단계인 EEA-3 비중이 2021년 20%에서 2022~2023년 40%, 2024년에는 53%로 크게 확대됐다. EEA에서는 계통 제약이 이뤄질 수 있는 만큼 AI 데이터센터 입장에서는 독립발전 체제를 구축하는 것이 이제는 선택이 아니라 필수에 가까워질 것이라는 판단이다.

단기적으로는 PPA 체결과 자체 보유한 백업전원을 통해 일부 전력이라도 빠르게 확보하는 것이 가장 중요하다. 그러나 중장기적으로는 계통연결 없이 독립 발전 가능한 구조로 확장 및 전환해야 한다. 완전한 독립 발전체제를 구축하는데 있어 빠질 수 없는 것이 24시간 안정적인 전력공급을 담당하는 기저전원이다. 따라서 이제는 가스터빈과 재생에너지 뿐만 아니라, 차세대 BTM 구조에서 기저전원 역할을 맡게 될 발전원에 대해서도 고민해야 하는 시점이다.

그림18. 미국 서부지역 2021년 이후 EEA 발생건수 및 EEA-3단계 비중 추이



자료: WECC, iM증권 리서치본부

최근 하이퍼스케일러들의 데이터센터 규모 GW 단위로 대형화

데이터센터 용량 확대로 피크수요 대응이 아닌 전체 발전량의 확대가 필요

AI 데이터센터들이 BTM 발전구조를 도입하게 된 배경은 계통병목 심화에 따른 시간 단축 및 노후 송전망 활용으로 인한 전력품질 저하를 개선하기 위함이었다. 이에 상대적으로 설치 기간이 짧은 재생에너지와 자체적인 관성을 갖고 있어 전압과 주파수가 안정적인 가스터빈을 중심으로 BTM 발전이 도입되고 있다.

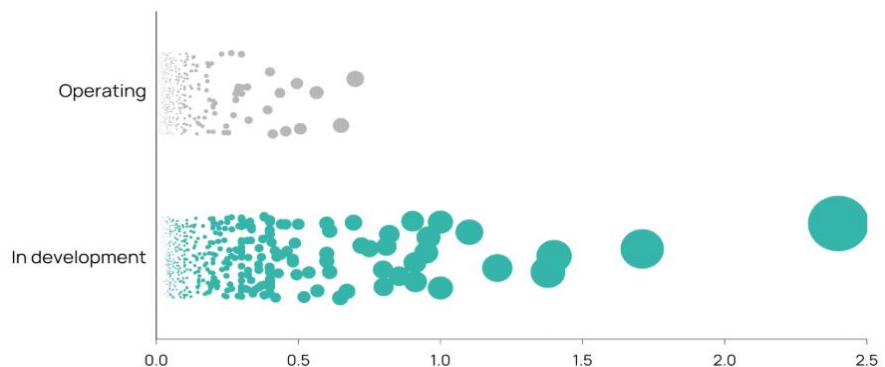
다만, 아직까지 BTM 발전은 AI 데이터센터 전력을 완전히 독립적으로 공급하는 원천이 아니다. 데이터센터 초기 운영에 필요한 전력 일부만이라도 속도감 있게 조달하기 위한 수단으로 활용될 뿐, 그리드 의존도는 여전히 높은 편이다. 그러나 현재 운영 중인 데이터센터 용량은 대부분 100~300MW 규모에 그치는 만큼 재생에너지와 소형 가스터빈, ESS를 통해서 일부 전력 조달은 충분히 가능하다. 나머지 전력을 공급받기 위해 그리드에 연결해도 용량은 MW 단위이기 때문에 전체 계통망 운영에 미치는 충격은 그리 심각하지는 않다. 다시 말해, 지금까지의 AI 데이터센터는 'BTM 일부 자가발전+그리드 연결' 구조로 전력을 조달하는데 큰 문제가 없었다. 물론, 데이터센터 계통 연결로 전체적인 전력망 운영의 부담은 높아지는 것은 부정할 수 없으나, 안정성을 위협하는 치명적 요인은 아니다.

그러나 최근 하이퍼스케일러들은 1~2GW 단위의 캠퍼스 형태로 데이터센터를 구축하고 있고, 향후 해당 추세는 점점 뚜렷해질 것으로 예상된다. 이 상황에서는 전력 소비량이 GW 규모에 달하고 부하 변동성도 워낙 큰 만큼 하이퍼스케일러 데이터센터가 그리드에 부착되는 것은 기존 데이터센터와 영향력이 사뭇 다르다. 이는 하이퍼스케일러들의 데이터센터는 기존 대비 그리드 연결을 최소화하거나 또는 완전히 독립적으로 운영될 수 있도록 BTM 구조를 갖춰야 함을 의미한다.

그림19. 현재 운영 vs 건설 중인 데이터센터 용량 추이: MW 단위에서 GW 단위로 빠르게 확대

Capacity of current and future data centers

gigawatts



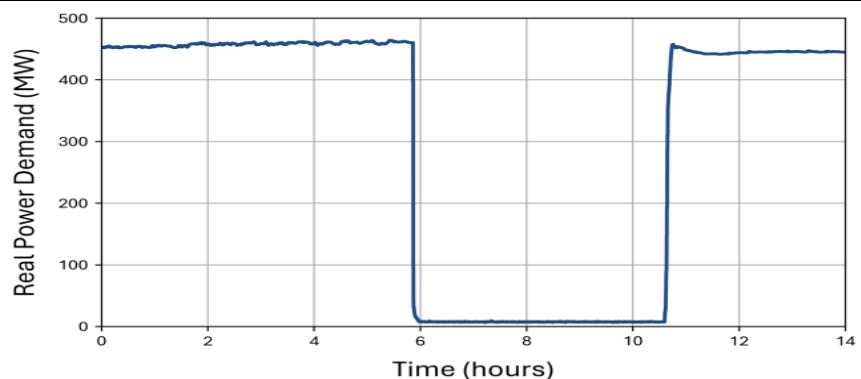
자료: Orennia, iM증권 리서치본부

계통 운영자에게 MW 데이터센터와 GW 데이터센터 영향은 차원이 다른 영역

100~300MW 데이터센터와 1~2GW 데이터센터의 계통망 유입은 단순한 용량 차이에 그치지 않는다. AI 데이터센터는 대규모 학습 및 추론 과정에서 수만개의 GPU 서버들이 동시 가동 및 종료되는 구조로 인해 짧은 시간 내에 부하 변화가 발생한다. 실제 로드펄스가 발생했을 때 순간적인 전압 및 전류 변동이 포착된다. 이는 데이터센터 규모가 MW 단위에서 GW로 확대될 경우 동일한 비율의 부하 변화라도 순간적으로 발생하는 부하변동의 절대규모는 커진다는 것을 의미한다.

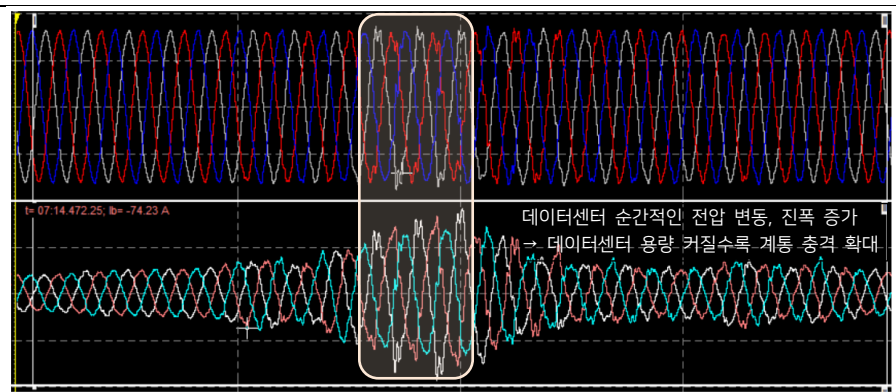
가령, 동일하게 20% 부하변동을 가정할 경우 300MW 데이터센터에서는 규모가 60MW로 기존 예비력이나 주파수 조정 등으로 충분히 흡수할 수 있지만, 1GW 데이터센터에서는 200MW로 계통 대응 부담이 높아진다. 전압강화와 주파수 등의 문제로 의도적으로 부하를 차단할 때도 300MW 데이터센터의 계통 탈락과 1GW 데이터센터의 탈락이 전체 계통망에 미치는 영향은 차원이 다르다. 특히 후자의 경우 대형 발전기 1기를 정지하는 수준의 계통 이벤트로 작용할 수 있어 전체 계통 안정성 저하를 유발할 가능성이 높다.

그림20. 450MW 규모 데이터센터의 부하 변동 사례



자료: EPOCH AI, iM증권 리서치본부

그림21. 데이터센터 로드펄스 발생 시 전압(상), 전류(하) 변동 사례



자료: EPOCH AI, iM증권 리서치본부

독립발전 체제 구축을 위해서는 기저발전원 도입이 필수적

결국 GW 데이터센터에서는 대용량의 전력을 얼마나 안정적으로 확보할 수 있을 것인가 핵심 문제로 부상하게 된다. 이는 하이퍼스케일러들이 지금까지의 PPA 중심 구조에서 BTM 발전으로 확대하는 배경이 되고 있으며, BTM 내에서도 24시간 안정적인 전력 공급이 가능한 발전원 확보의 중요성을 높이고 있다.

최근 AI 데이터센터 BTM 발전에서는 재생에너지와 가스터빈, ESS 조합이 가장 현실적인 구조로 활용되고 있다. 그러나 GW급 데이터센터에서는 이 조합만으로 24시간 전력을 안정적으로 공급받기에는 다소 역부족이다. 태양광과 ESS는 각각 간헐성 및 저장시간 등의 한계가 있어 GW 규모 데이터센터의 상시 전력수요를 충족시키기가 어렵다. 현재는 가스터빈이 유연하게 출력을 조정하며 안정적인 전력공급을 담당하고 있으나, 데이터센터 용량이 GW 단위로 확대되면 천연가스 연료비 부담으로 24시간 내내 가동률을 유지하기는 사실상 부담스럽기 때문이다.

결국 BTM 발전구조를 통해 AI 데이터센터에 필요한 전력이 완전히 독립적으로 공급되기 위해서는 가스발전을 보완 또는 대체할 수 있는 기저발전원이 필요하고, 중장기적으로는 연료전지와 SMR이 그 역할을 맡게 될 것으로 예상된다. 다만, 연료전지는 용량이 작아 도심 소규모 데이터센터 위주로 활용될 가능성이 높다. SMR은 아직까지 NRC 운영허가 받았거나 실제 기술검증 완료된 원자로가 없고 2030년대 초중반은 되어야 상업가동될 수 있어 당장의 활용은 제한적이다.

표6. 주요 AI 데이터센터 용량 및 전력조달 방식

기업	데이터센터 프로젝트	지역	데이터센터 용량 (MW)	주요 전력조달 방식	주요 발전원
Amazon	Northern Indiana DC	Indiana, US	3,000	FTM PPA	가스 + ESS
	Pennsylvania DCs	Pennsylvania, US	1,920	FTM PPA	원전 (Talen)
Google	Horndal Campus	Sweden	1,400	Grid + PPA	재생에너지
	Skien Campus	Norway	850	Grid + PPA	수력·재생에너지
Meta	Tulsa DC	Oklahoma, US	1,500	FTM PPA	청정에너지
xAI	Colossus	Tennessee, US	1,200+	BTM	천연가스
Softbank/OpenAI	PORTS Campus	Ohio, US	10,000	FTM	미정
	Stargate Abilene	Texas, US	361	BTM	천연가스
Fermi America	Project Matador	Texas, US	6,000	BTM + PPA	천연가스
Oracle	Project Jupiter	New Mexico, US	2,450	BTM	SOFC
Microsoft	Crane Clean Energy Center	Pennsylvania, US	835	FTM PPA	원전 (Constellation)
	Fairwater AIDC	Wisconsin, US	388	FTM PPA	태양광 + ESS
Compass	Prince William Digital Gateway	Virginia, US	1,336	Grid 연계	미정
QTS	Digital Dulles	Virginia, US	1,000	Grid 연계	미정
Green Energy Partners	Surrey Nuclear Site	Virginia, US	1,000	원전 연계	원전
Aligned Data Centers	Quantum Loophole	Maryland, US	800	Grid 연계	미정
Switch	Tahoe Reno 2&3	Nevada, US	650	BTM + PPA	태양광 + ESS

자료: Uptime intelligence, iM증권 리서치본부

현실적으로 데이터센터 전력 모두 충족시키기엔 한계가 있는 '재생에너지+ESS'

데이터센터 BTM 도입이 1차적으로는 시간 단축과 전력품질 개선에 초점을 두고 있는 만큼 현재 발전원 선택에 있어서 가장 중요하게 고려되어야 하는 요인 또한 이 부분이다. 이와 같은 측면에서 태양광은 모든 발전원 중 부품조달이 용이하고, 설치기간도 짧아 BTM 주요 발전원으로 가장 적극적으로 활용되고 있다. 그러나 태양광은 간헐성 문제로 단독운영이 불가능하다. ESS 결합이 수반되고 있긴 하나, 태양광+ESS 조합만으로 BTM 구조를 설계하려면 데이터센터의 피크수요에 맞춰 발전설비를 건설해야 하는데, 이는 투자비의 비효율적인 급증을 의미한다.

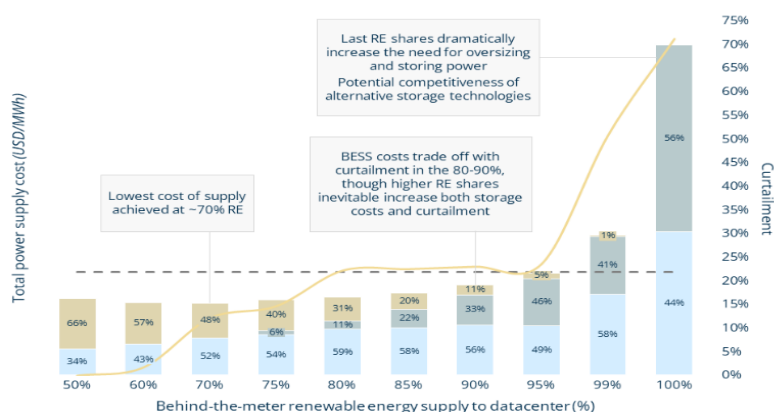
가령, 300MW 데이터센터를 24시간 가동하고 BTM 발전으로 전력을 조달할 때 재생에너지는 70% 비중이 가장 이상적이다. 그 이상으로 높아지면 발전설비와 ESS 투자비가 대폭 늘고, 출력제한도 더 빈번하게 발생하면서 효율성이 낮아지기 때문이다. 재생에너지 80% 이상에서는 오히려 그리드를 통해 전력을 조달하는 것보다 비용이 더 높아진다. 따라서 비용 측면에서 가장 이상적인 BTM 구조는 재생에너지 약 70%, 나머지는 계통연결 또는 가스터빈과 SMR 같은 재생에너지 외의 발전원을 통해 조달하는 것이다.

물론, 이와 관련된 구체적인 수치는 실제 데이터센터 규모와 성능, 발전소 위치에 따른 재생에너지 발전량, 해당 지역의 계통대기 심화 정도, 전력요금 등 여러 변수들에 따라서 확연히 달라질 수 있다. 다만, 100% 재생에너지 기반의 BTM 방식으로 전력을 직접 조달하는 형태는 총 투자비와 운영 효율성 등의 측면에서 정도의 문제일 뿐, 비효율성이 발생한다는 점은 분명 동일하다.

그림22. 300MW 용량의 데이터센터 기준 그리드 연결 vs 재생에너지 각 비중별 BTM 구조 전력비 비교

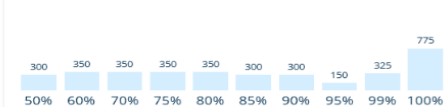
Total power supply cost to datacenter (incl. grid purchase costs)

— Cost if only using grid — Curtailment — Grid cost — BESS cost — Renewables cost

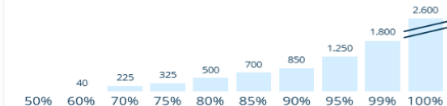


Optimal capacity mix to achieve various RE % levels

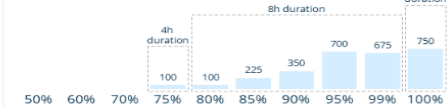
Wind capacity (MW)



Solar capacity (MWp)



BESS capacity (MW)



자료: Blue Power Partners, iM증권 리서치본부

GW 단위 데이터센터에서 기저전원으로 쓰기엔 연료비가 부담인 '가스터빈'

태양광은 단기에 발전 가능하다는 점이 장점이나, 전력품질과 출력제어 등에서는 모든 발전원 중 가장 열위에 있다. ESS를 통해 전력품질 개선과 간헐성을 일부 해소한다 하더라도 몇 시간 정도에 그쳐 근본적으로는 문제를 해결하기 어렵다.

따라서 태양광 외에 건설기간이 짧으면서도 상대적으로 고품질의 전력을 공급할 수 있는 발전원이 함께 설치되어야 하는데, 현재 가장 적극적으로 활용되고 있는 것이 가스터빈이다. 회전운동 기반으로 작동하는 가스터빈은 자체적으로 관성을 갖고 있어 태양광 대비 공급되는 전력의 품질이 우수하고, 시간 측면에서도 그리 길지 않다. 예를 들어, 터빈만 확보되면 1~4년 내외로 설치 가능하다.

그러나 가스터빈을 기저전원으로 활용하기엔 연료비 부담이 높고, 천연가스 가격 변동성이 크다는 점도 리스크로 작용한다. 1GW 용량 가스발전소 가동률을 90%, 발전효율 60% 가정하면 Henry Hub 3달러 기준 연료비는 총 179백만달러이다. 5달러 기준 총 224백만달러, 7달러 기준 총 314백만달러 등으로 연간 연료비가 대략 계산되는데, 절대적인 금액을 떠나 가격 예측이 쉽지 않고 변동성도 크다는 점에서 기저전원에는 적합하지 않다. 더욱이 트럼프 행정부의 미국 LNG 수출량 확대 기조에 따라 중장기적으로 미국 Henry Hub 가격은 상방압력이 예상된다는 점도 가스발전으로 대용량의 전력을 24시간 생산하기에는 부담일 수밖에 없다.

그림23. 미국 천연가스 가격 추이



자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

표7. 가스 복합발전소 연료비 추정

가스 복합발전소 연료비 추정 및 가정사항		
가스발전소 용량	1GW	-
가동률	90%	기저전원 활용 고려
발전효율	60%	CCGT 평균 기준
연간 전력생산	7,884	GWh/년
전력-열에너지 환산계수	3.41	MMbtu/MWh
CCGT 열소비량	5.69	MMbtu/MWh
연간 천연가스 사용량	44,833,680	MMbtu
Henry Hub 가격 시나리오에 따른 총 연료비 계산		
3달러/mmbtu	135	백만달러
5달러/mmbtu	224	백만달러
7달러/mmbtu	314	백만달러

자료: iM증권 리서치본부

III. 차세대 BTM 기저발전으로 부상할 SMR

각 발전원별 특성에 근거한 BTM 기저발전원 적합성 비교

24시간 공급+전력품질+온사이트 여부 고려하면 SMR/연료전지가 가장 적합

기저전원은 24시간 안정적으로 전력을 공급하는 발전원인 만큼 기후변화와 같은 외부요인에 따른 발전량 영향이 없어야 하고, 발전단가도 낮아야 한다. 이와 같은 특성으로 인해 현재 주요국에서는 석탄과 원전이 기저전원 역할을 맡고 있다.

그러나 석탄은 발전단가가 낮고 가동능력이 아무리 우수해도 탄소배출 부담으로 중국과 인도, 일부 동남아시아를 제외하면 신규로 건설되진 현실적으로 어렵다. 대형원전은 무탄소 발전원이라는 장점이 있긴 하나, 규모가 워낙 크고 까다로운 인허가 절차로 인해 새로 건설하는데 최소 7~8년 이상의 시간이 소요된다. 또한 2010년대부터 본격화된 탈원전 정책으로 주요국들의 원전 공급망이 붕괴되었고, 최근 건설자재 비용 급등으로 투자비도 1GW 기준 12~13조원을 훌쩍 넘어선다.

무엇보다 BTM 발전은 데이터센터 부지 인근 또는 내부에 발전소가 설치되어야 한다는 점에서 대형원전은 적합하지 않다. 원전은 만일의 사고가 발생했을 때 방사성 물질이 확산되는 것을 방지하기 위해 안전거리를 확보해야 하는데, 통상 대형원전은 EPZ 거리가 반경 16km 내외에 달해 데이터센터 부지에 설치하기는 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 대형원전은 AI 데이터센터들이 BTM 발전을 위한 수단으로 직접 활용하는 것보다는, 지금처럼 주로 PPA 장기계약을 통하여 전력을 조달하는 간접적인 수단으로 활용할 것으로 예상된다.

따라서 각 발전원별 24시간 공급능력과 전력품질, 부하추종, 온사이트 설치 가능 여부 등을 고려했을 때 AI 데이터센터 차세대 BTM 구조에 있어 중장기적으로 SMR, 연료전지 등이 기저발전원의 역할을 맡게 될 것으로 판단된다.

표8. 주요 발전원별로 전력품질 관리 측면의 특성 비교

구분	가스터빈	연료전지 (SOFC)	태양광	ESS	원전(대형)	SMR
데이터센터 내 역할	주전원·백업전원	상시전원	저가전력 공급	전력품질·순간대응	대규모 기저전원	온사이트 기저전원
전력품질	높음	매우 높음	낮음	매우 높음	매우 높음	매우 높음
계통 관성	있음	없음	없음	없음(synthetic 가능)	있음	있음
출력 응답속도	빠름(초~분)	빠름(초~분)	매우 낮음	매우 빠름(ms~초)	느림(분~시간)	중간(분)
부하 추종/출력 유연성	매우 우수	보통	불가능	매우 우수	제한적	우수
24시간 공급	가능	가능	불가능	단독 불가	가능	가능
발전효율	OCGT 35~45% CCGT 55~60%	55~65%	-	85~95%(충방전)	30~40%	40~50% (비경수로 4세대 기준)
온사이트 설치	가능	가능	가능	가능	사실상 어려움	가능
BTM 적용성	매우 높음	매우 높음	높음	매우 높음	낮음	매우 높음
설치 기간	1~3년	1년 내외	1~2년	1년 내외	7~10년 이상	3~5년 (단, 아직 상용화 전)
초기 투자비	높음	높음	낮음	중간	매우 높음	높음

자료: iM증권 리서치본부

BTM 기저발전원 후보 중 연료전지(SOFC) vs SMR 비교

(1) SOFC 연료전지: 기술 상용화 수준 높아 현 시점에서 가장 현실적인 발전원

SMR과 연료전지는 24시간 안정적인 전력 공급과 빠른 출력 조절이 가능하다는 점에서 공통적인 장점을 갖고 있다. 또한 규모가 작아서 데이터센터 부지 내부와 인근에 설치가 가능하다는 점에서도 BTM 기저전원으로 활용되기에 적합하다.

연료전지 중에서도 최근 데이터센터 발전용에는 고체산화물 기반 SOFC 기술이 주로 활용되고 있다. SOFC는 천연가스를 직접 연소하지 않고 전기화학 반응으로 전기를 생산하기 때문에 일반 가스터빈 대비 높은 55~65% 수준의 발전효율을 가진다. 설치기간이 짧고, 연료만 지속적으로 공급되면 24시간 안정적으로 전력 생산이 가능하다는 점에서 Bloom Energy 중심으로 데이터센터용 SOFC 공급이 확대되고 있다. 무엇보다 아직까지 상업가동 중인 기술이 부재한 SMR과 달리, SOFC 연료전지는 이미 상용화 수준이 높고 Equinix, Intel 등의 데이터센터에서 실제 운영되고 있다. 따라서 현 시점에서는 연료전지가 AI 데이터센터 기저전원 역할을 수행할 수 있는 가장 현실적인 발전원으로 볼 수 있다.

다만, 용량이 작아 GW 규모의 데이터센터 기저발전원으로는 적합하지 않아

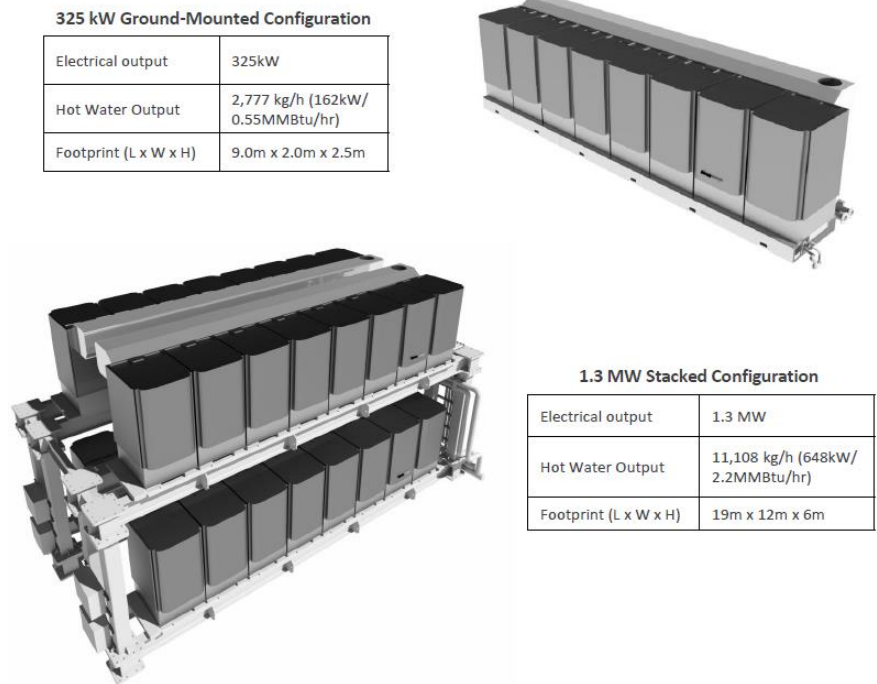
그러나 최근 하이퍼스케일러들의 데이터센터 용량이 MW 단위에서 GW 단위로 빠르게 확장하고 있는 만큼 중장기적으로는 SOFC가 기저발전원으로 대응하는데 있어 한계가 존재한다. 전력 생산이 증가할수록 천연가스 투입량도 늘기 때문에 장기적인 연료비 부담이 가중된다. 무엇보다 Bloom Energy 연료전지는 블락당 용량이 250~325kW 내외에 그쳐 이를 수십개에서 수백개 이상을 묶어서 모듈 형태로 설치해야만 겨우 MW 규모의 전력을 공급할 수 있다. 하이퍼스케일러 업체들이 1~5GW 규모의 AI 데이터센터 캠퍼스 구축을 본격화하고 있는 만큼 용량이 작은 연료전지는 앞으로 규모의 경제 측면에서 경쟁력이 낮을 수 있다.

표9. Bloom Energy 연료전지(SOFC) 기반 주요 프로젝트 현황

고객사	프로젝트	SOFC 용량	현재 상태	참고내용
Equinix	미국 19개 데이터센터	100MW+	운영 중	데이터센터 최대 운영 레퍼런스
	Silicon Valley SV5	1MW	운영 중	2015년 파일럿 시작
Intel	Santa Clara HPC Data Center	비공개(MW급)	운영 중	HPC 데이터센터 전원 공급
Oracle	OCI AI Data Center	비공개	구축 진행	AI 데이터센터 전력공급)
	Project Jupiter	최대 2.45GW	구축 예정	AI 데이터센터 마이크로그리드
	Oracle-Bloom 확대 계약	최대 2.8GW	공급계약 체결	AI 데이터센터향 공급계약
SK Eternix	칠곡 에코파크	19.8MW	운영 중	BloomSOFC 기반 최대 운영 사례 중 하나
	충주·대소원 에코파크	80MW	건설 중	현재 세계 최대 단일 사이트급 SOFC 프로젝트 중 하나
	연료전지 사업 포트폴리오	약 400MW	개발 중	국내 최대 규모 개발 파이프라인 중 하나)
SK Ecoplant	화성·파주 프로젝트	28MW	운영 중	19.8MW(화성) + 8.1MW(파주)

자료: iM증권 리서치본부

그림24. Bloom Energy 연료전지(SOFC) 배치 형태 및 발전용량



자료: Bloom Energy, iM증권 리서치본부

표10. Bloom Energy 연료전지(SOFC) 325kW 시스템 기준 주요 성능

항목	값 (Lifetime Average)
Electrical Efficiency (발전효율)	54%
Thermal Efficiency (열효율)	약 28.5%
Total Cogen Efficiency (열병합 총효율)	약 82.5%
Hot Water Generation (온수 생산량)	2,777 kg/h 12.23 GPM 162 kW 0.55 MMBtu/hr
Hot Water Temperature (Out) (온수 출구온도)	100°C (212°F)
Hot Water Temperature (In) (온수 입구온도)	50°C (122°F)
Hot Water Line Pressure (온수 배관 압력)	5 bar(g) (최대 16 bar(g)) 72.5 psi(g) (최대 232 psi(g))
CO ₂ Emissions (이산화탄소 배출량)	269 kg/MWh
Water Interface (DN) (급·배수 연결구경)	2" (#300 RF)

자료: Bloom Energy, iM증권 리서치본부

(2) SMR: 발전규모와 연료비 부담, 전력품질 관점에서 SOFC 대비 강점 보유

SMR 발전효율은 30~45% 수준으로 SOFC 기반의 연료전지 대비 열위하지만, 24시간 가동했을 때 연료비 부담이 낮다는 강점이 있다. 또한 SMR은 사이즈와 냉각방식 차이일 뿐 대형원전과 동일하게 터빈 회전운동을 통해 전력을 생산하는 만큼 전압과 주파수 안정성 등 전력품질 측면에서도 연료전지 대비 우수하다.

또한 NuScale, TerraPower, GE Vernova Hitachi 등 현재 SMR 실증 프로젝트를 개발 또는 건설 중인 업체들은 모듈당 수백 MW 규모의 출력을 제공하도록 설계하고 있다. 기술마다 용량이 상이하나, 적게는 3개에서 많게는 12개 모듈을 조립하면 1GW 이상의 발전용량 확보가 가능하다. 따라서 향후 AI 데이터센터가 GW 단위로 확대될 때 SMR은 대규모 기저발전원으로 활용될 수 있는 잠재력이 연료전지 대비 더 높다는 판단이다. 최근 Meta, MS, Google, Amazon 등과 같은 하이퍼스케일러들이 SMR 업체들과 파트너십을 체결하는 것 역시 중장기적으로 안정적인 기저전원 공급과 연료비 안정성을 동시에 확보하기 위함으로 해석된다.

단기로는 이미 상용화된 SOFC, 중장기로는 규모 확장성 높은 SMR 역할 확대

결론적으로 현재 AI 데이터센터의 BTM 발전의 주요 발전원으로 활용되고 있는 재생에너지와 가스터빈에 이어, 좀 더 독립적인 발전체제를 갖추기 위해서 도입 확대가 예상되는 발전원은 SOFC 기반의 연료전지와 SMR 소형원전이다.

다만, 이들을 경쟁관계보다는 타임라인 관점에서 상호보완 관계로 바라보는 것이 더 합리적이다. 계통 제재 리스크 축소를 위해 이미 기저발전 필요성이 높아지고 있는 만큼 단기적으로는 이미 상용화된 SOFC 연료전지가 BTM 기저전원으로서 역할을 수행해야 한다. 중장기적으로는 데이터센터가 GW 단위로 확대됨에 따라 발전규모의 확장성 및 연료비 절감 측면에서 SMR의 경쟁력이 부각될 전망이다.

표11. 연료전지 및 주요 SMR 기술별 발전용량 비교

구분	업체명	적용 기술	모듈당 기본 출력	프로젝트(or 원자로 모델) 및 발전용량	현재 상용화 단계
SOFC	Bloom Energy	SOFC (고체산화물 연료전지)	250~325kW	Equinix 100MW+	상용화 완료
SMR	NuScale Power	PWR (가압경수로)	77MW	VOYGR-12 (924MW, 12기 조립)	미국: NRC 설계승인 완료 루마니아: RoPower 프로젝트 추진 중
	TerraPower	SFR (소듐냉각고속로)	345MW	Wyoming Kemmerer (345MW)	NRC 건설승인 완료 현재 프로젝트 건설 시작
	GE Vernova Hitachi Nuclear Energy (JV)	BWR (비등경수로)	300MW	BWRX-300 (300MW)	미국: NRC 건설허가 신청, 현재 심사 중 캐나다: Darlington 프로젝트 건설 시작
	X-Energy	HTGR (고온가스로)	80MW	Xe-100 320MW, 4기 조립)	NRC 건설허가 신청, 현재 심사 중

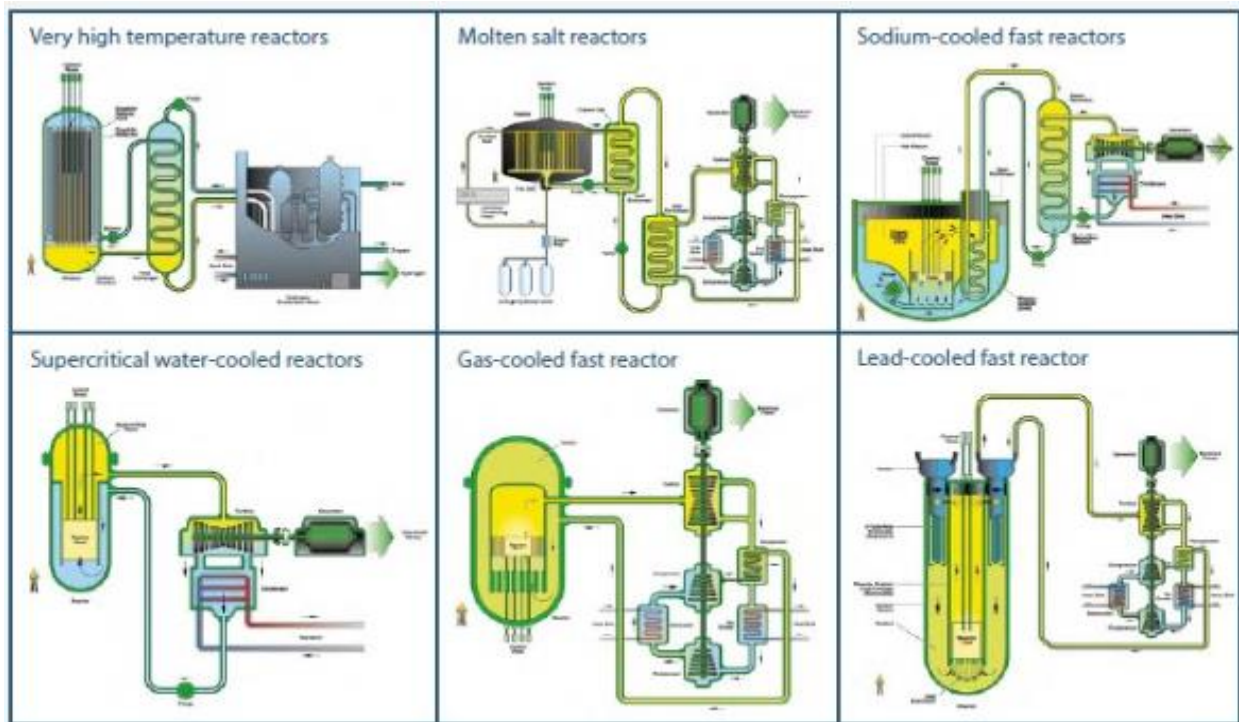
자료: iM증권 리서치본부

표12. SOFC 연료전지와 SMR 특성 비교

구분	SOFC 연료전지	SMR
기술개발 상용화 수준	높음 (이미 현재 운영 중)	실증 단계 (2030년 이후 가동 목표)
발전 원리	전기화학 반응	핵분열 → 증기 → 스팀터빈
주요 설비	연료전지 스택 + 인버터	원자로 + 증기발생기 + 스팀터빈
계통 관성(Inertia)	없음 (인버터 통해서 전압/주파수 조정)	있음 (전압/주파수 안정 우수)
24시간 공급	가능 (단, 연료비 부담 높음)	가능 (연료비 부담 낮음)
연료	천연가스·수소	우라늄
모듈 규모	250~325kW (현재 BloomEnergy 모델 기준)	77~345MW (각 기술별로 상이)
GW급 확장성	보통 (수천개 이상의 모듈 조립 필요)	매우 우수 (2~10개 모듈 조립만으로도 가능)
설치기간	1~2년	대략 2~3년 (상용화 완료 후 건설기간 기준)
부하추종성	보통~우수	PWR 기술은 제한적, SFR·HTGR 기술은 우수
데이터센터 역할	중기 기저전원	장기 기저전원

자료: iM증권 리서치본부

그림25. 어떤 SMR 기술이든 대형원전과 동일하게 스팀터빈 회전운동을 통해 전력 생산



자료: Earth Science Australia, iM증권 리서치본부

SMR이 차세대 BTM 기저전원으로 활용되기 위한 2가지 과제

1. 첫 번째 과제: 상용화 시기

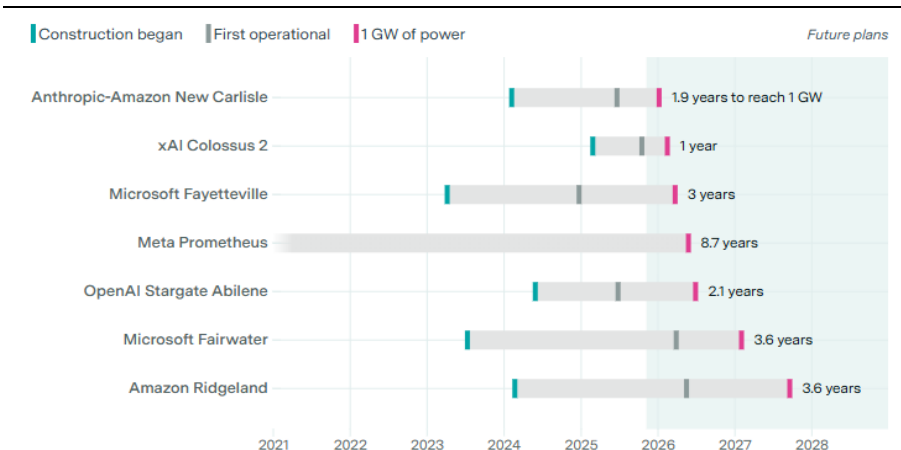
신규 건설되는 데이터센터 GW 달성 시기와 얼추 비슷한 SMR 상용화 시기

연료전지 대비 발전용량 확장과 연료비, 전압 및 주파수 안정성 측면에서 강점을 가진 SMR이 향후 AI 데이터센터 기저전원으로 활용되는데 있어 관건은 상용화 시기이다. 현재 미국 SMR 업체들은 NRC의 설계 승인을 신청 또는 허가받았고, 이후 2030년대 초중반까지 상업가동을 목표로 하고 있다. 참고로 상업용 SMR 기준으로 현재 유일하게 건설 중인 업체는 TerraPower의 Kemmerer 프로젝트로 2029년 하반기 완공 및 2031년 상업가동 예정이다.

통상 AI 데이터센터가 건설을 시작한 후 1GW 용량에 도달하는데 대략 2~4년이 소요된다. xAI 프로젝트가 1년 만에 GW 용량의 데이터센터를 확보하긴 했으나, 이는 테슬라 Megapack 168기를 대량 설치로 가능했던 만큼 이례적인 상황으로 보는 것이 현실적이다. 그 외 하이퍼스케일러 중에서 Amazon, MS, OpenAI 등은 처음 데이터센터를 건설한 이후 1GW 용량 확보까지 평균 2~4년의 타임라인을 계획하고 있다. 아직까지 미국에서는 상업화에 도달한 SMR 기술이 없어 원자로 설계와 건설, 운영승인 등의 과정이 필요하긴 하나, 실제 건설에 소요되는 기간은 약 2년 내외로 대형원전 대비 현저히 짧다.

현 시점부터 신규로 건설을 검토하거나 건설을 시작하는 데이터센터의 경우 GW 용량을 갖추게 되는 시기는 대략 2030년 전후가 될 가능성이 높다. 이에 따라 가동 초반에는 가스터빈과 재생에너지, SOFC 연료전지의 조합으로 BTM 발전 체제를 구축하는 한편, 중장기적으로 데이터센터가 GW 단위로 확대되는 2030년 이후에는 SMR 가동을 통해 연료전지보다 더 많은 전력을 더 저렴하게 확보하는 구조를 선택할 수 있다.

그림26. 데이터센터 건설 이후 1GW 용량에 도달하는데 소요되는 기간



자료: EPOCH AI, iM증권 리서치본부

인허가 절차 간소화를 통해 SMR 상용화를 앞당기기 위한 미국의 정책적 지원

미국 정부에서도 차세대 원자로 SMR 도입 속도를 높이기 위한 정책적인 지원을 확대하고 있다. 트럼프 행정부는 미국 원자력발전소 용량을 현재 약 100GW에서 2050년 400GW 수준까지 확대한다는 목표를 제시한 바 있으며, 이를 달성하기 위해 2025년 5월에는 행정명령 14300호를 통해 NRC에 신규 원전 건설과 운영 허가에 대한 최종결정을 18개월 내에 완료하도록 지시했다.

트럼프 행정명령 직후 미국 원자력규제위원회(NRC) 차원에서도 원전과 관련된 규제 전반을 정비하고 있다. 대표적으로 2025년 11월 신규 원전 인허가 절차를 간소화하도록 규정을 개정하였고, 첨단원자로는 환경영향평가에서 범주적 제외를 도입해 기존보다 환경영향평가를 간소화할 수 있게 했다. 또한 지금까지는 미국 에너지부와 국방부에서 수행한 실증 데이터가 있어도 NRC 자체적인 심사에서 추가 과정을 거쳐 왔으나, 2026년 4월부터는 해당 데이터를 심사에 활용함으로써 중복되는 검토를 최소화하는 방향을 제시했다.

그림27. 트럼프, 미국 원전 용량 400GW로 확대 계획 발표 및 이를 지지하기 위한 행정명령 서명

Trump sets out aim to quadruple US nuclear capacity

Saturday, 24 May 2025



자료: 백악관, iM증권 리서치본부

표13. 트럼프 행정부 집권 2기 이후에 SMR 상용화 속도를 높이기 위해 도입 또는 개정된 정책적 지원들

정책적 지원	핵심 내용	시기
트럼프 정부, 행정명령 14300호 서명	신규 원전 건설 및 운영 허가 최종결정 18개월 내에 완료하도록 지시	2025년 5월
NRC 규정 정비 및 절차 간소화	원전 인허가 심사에서 중복 또는 불필요한 절차 축소하도록 NRC 규정 정비	2025년 11월
미국 에너지부, NEPA(환경영향평가) 개정	첨단원자로 환경영향 평가 범주적 제외 도입으로 환경심사 검토 간소화	2026년 2월
10CFR 내 Part 53 도입	경수로 기반 대형원전 심사 방식이 아닌 상업용 첨단원자로용 인허가 체계 도입	2026년 3월
에너지부/국방부 실증 데이터활용 제안	에너지부와 국방부에서 수행한 데이터를 NRC 심사에 활용해 중복 검증 최소화	2026년 4월
10CFR Part 57 제안	마이크로리엑터 등 저위험 SMR 전용 신속 인허가 체계 마련	2026년 5월

자료: iM증권 리서치본부

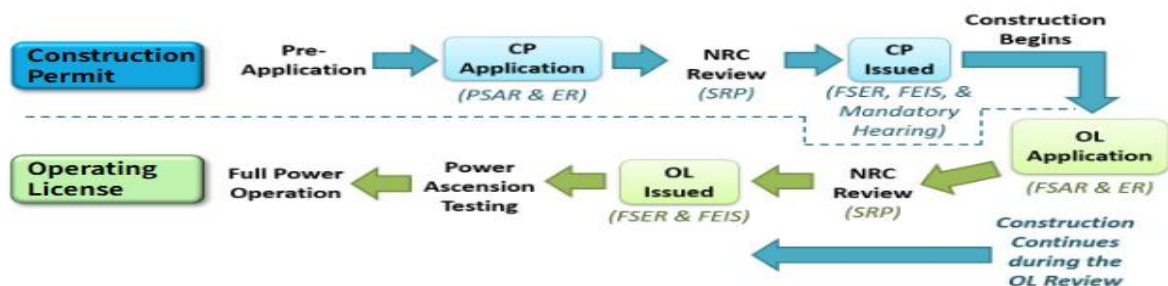
(1) 첨단원자로를 위한 Part 53 인허가 체제 도입

2026년 3월 도입된 'Part 53' 인허가 체계는 지난 1년간 이뤄졌던 정책적 지원들 중에서도 SMR 인허가 속도를 앞당기는데 핵심적인 역할을 할 전망이다. Part 53 체계 도입 전까지 미국 신규 원전 건설은 원자력 인허가와 안전 규제를 규정하는 NRC의 10 CFR 하위에 있는 Part 50, Part 52 체계에 기반하여 심사되어 왔다.

Part 50 체계는 건설허가(Construction Permit)와 운영허가(Operating License)를 분리 심사하는 방식이고, Part 52 체계는 설계인증(Design Certification)을 먼저 받은 후 건설과 운영허가(Combined Operating License)를 동시에 받는 구조이다. 처음 대형원전이 건설되기 시작한 1950~1960년대에는 주로 Part 50 방식으로 인허가가 이뤄졌다. 그러나 원전 기술이 점차 표준화되면서 건설 과정에서 설계 변경도 거의 발생하지 않아 1989년에 건설 및 운영허가를 동시에 받는 Part 52 방식이 도입되었다. 이후 1990~2000년대 들어와서는 대부분의 원전들이 건설 이후의 운영 규제 리스크를 해소할 수 있는 Part 52 체제로 인허가를 받고 있다.

그림28. 전통적인 NRC 원전 인허가 방식인 Part 50 vs Part 52 체제 비교

10 CFR Part 50



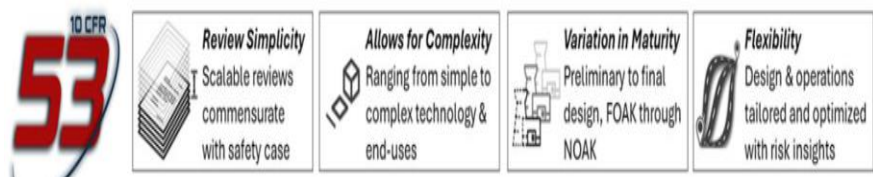
10 CFR Part 52



자료: NRC, iM증권 리서치본부

그림29. NRC, 기존 대형원전 기준이 아닌 SMR 특성을 고려한 인허가 방식 Part 53 체제 도입

Safely Enabling Flexibility, Efficiency, and Innovation



자료: NRC, iM증권 리서치본부

SMR 실증 이후 프로젝트부터는 Part 53 방식으로 인허가 기간 대폭 단축 가능

그러나 Part 50 및 Part 52 모두 경수로 중심의 대형원전 기반으로 설계되어 있어 최근 새롭게 개발 및 건설되고 있는 SMR 기술을 검토하기에는 적합하지 않다. 가령, 기존 원전은 물을 냉각재로 사용하는 경수로 중심인데다 발전규모도 통상 1GW 이상에 달하는 대규모 발전소이기 때문에 안전체통이 복잡할 뿐만 아니라, 대규모 비상계획구역(EPZ) 확보와 다수의 운전인력 등이 요구된다.

반면, SMR은 기본적으로 규모가 작은 소형 원자로를 여러 모듈 형태로 조립하는 구조이다. 또한 냉각재와 감속제로 물을 사용하는 PWR, BWR 기술과는 달리, 소듐냉각고속로(SFR), 고온가스로(HTGR), 용융염원자로(MSR) 등 다양한 신규 기술을 활용하고 있어 기존 경수로 중심의 규제를 그대로 적용하기는 어렵다.

이에 대한 문제가 2010년대부터 꾸준히 제기됨에 따라 미국 의회는 원자력 혁신 및 현대화 법안인 NEIMA(Nuclear Energy Innovation and Modernization Act)를 2019년 통과시켜 첨단원자로를 위한 기술중립적 인허가 체계 마련을 요구했다. 이에 따라 NRC는 2026년 3월 말에 경수로 기반 대형원전 외에 차세대 상업용 원자로 기술들에 적용할 수 있는 Part 53 인허가 체계를 도입했고, 4월 29일부터 적용이 가능해졌다. Part 53 방식은 특정 원자로 기술과 세부적인 설계 요건보다 Technology-Inclusive(기술 중립적), Risk-Informed(위험도 기반), Performance-Based(성능 기반) 등의 3가지 원칙에 따라 성능과 위험도를 중점으로 심사한다.

현재 미국에서 NRC 설계승인을 받은 NuScale, 건설승인을 받은 TerraPower, 건설허가를 심사 중인 GE Vernova Hitachi 등 주요 SMR 업체들은 이미 Part 50 또는 Part 52 방식으로 인허가 절차를 진행하고 있다. 따라서 Part 53 체계가 도입되었어도 지금 당장 이들 프로젝트에 미칠 영향은 제한적이다. 다만, 현재 진행 중인 프로젝트 이후의 신규 원자로들은 Part 53 인허가 방식 활용으로 기존 대비 심사기간과 비용을 대폭 축소할 수 있을 것으로 기대된다.

표14. NRC 원전 인허가 방식 비교

구분	현재 운영 중인 인허가 방식			현재 미도입
	Part50	Part52	Part53	Part57
도입 시기	1950~60년대 체계	1989년 도입	2026년 3월 도입(4월 말부터 적용)	2026년 제안
대상	대형 경수로 중심	대형 경수로 중심	첨단원자로 전반	저위험 SMR·마이크로리액터
인허가 방식	CP→건설→OL	DC→COL→건설	위험도·성능 기반	위험도 기반 간소화
기술 범위	PWR/BWR 중심	PWR/BWR 중심	PWR, BWR, SFR, HTGR, MSR 등	SMR, 마이크로리액터
설계 최종확정 여부	건설 전에 설계 최종확정 불필요	건설 전에 설계 최종 확정 필요	기술 중립적 심사	표준화 설계 강조
건설 후 운영허가	별도 필요	COL에 포함	미정	간소화 추진
대표 대형원전 사례	Susquehanna, South Texas 등 1970~1990년대 건설된 원전들	Vogtle #3,4 (현재 운영 중) VC Summer #2,3 (현재 건설 중단)	-	-
대표 SMR 사례	TerraPower, Kairos	NuScale, GE Hitachi	NuScale, TerraPower (예상)	Oklo, Radiant, Aalo (예상)

자료: iM증권 리서치본부

Part 53 도입에 이어, 마이크로리액터 전용 체계인 Part 57 도입까지 추진

한편, NRC는 첨단원자로를 위해 인허가 절차를 간소화하는 Part 53 방식 도입에 이어 최근에는 마이크로리액터 전용 Part 57 체계까지 도입하는 방안을 추진하고 있다. 이는 상업용 첨단원자로 전반을 포괄하는 Part 53 방식에서 조금 더 나아가 데이터센터와 산업단지, 군기지 등에 분산 배치할 수 있는 소형 원자로의 신속한 상용화를 지원하기 위함이다.

지난 4월 24일 NRC가 관련 계획을 공식적으로 발표한 이후 현재 이해관계자간 의견수렴 절차가 진행 중이며 향후 최종 제정 여부가 결정될 예정이다. Part 57은 에너지부와 국방부에서 마이크로리액터 대상으로 수행하고 있는 실증 데이터를 NRC 심사에 적극 활용하여 중복되는 검토를 최소화하고, 비상계획구역과 인력, 보안요건 등 또한 실제 위험도에 비례해 차등 적용하는 방향으로 설계되고 있다.

다만, Part 53이 상업용 첨단원자로 전반에 적용되는 인허가 체계라면 Part 57은 마이크로리액터에 특화된 인허가 체계이다. 따라서 SMR 중에서도 수십MW에서 수백MW 용량으로 추진되는 NuScale, TerraPower, GE Hitachi 등의 업체보다는 Oklo, Radiant, Aalo 등과 같은 초소형 원자로 개발업체들에게 직접적인 수혜로 작용할 것으로 예상된다. 세부적인 차이에도 불구하고 Part 53 및 Part 57 도입은 첨단원자로 규제 불확실성을 완화하고, 향후 데이터센터 온사이트 발전용 SMR 및 마이크로리액터 상용화를 촉진하는 핵심 제도적 기반이 될 것으로 전망된다.

그림30. NRC, 초소형원자로용 인허가 방식 Part 57 도입 추진 및 주요 내용

EO14300 Rulemaking	
NRC Proposes a New Licensing Framework to Accelerate Safe, High-Volume Deployment of Microreactors	
No: 26-047	April 24, 2026
CONTACT: Office of Public Affairs , 301-415-8200	
A few key features of the proposed Part 57 rule include:	
• Requesting approval of fleets of identical reactors, • Allowing appropriate use of alternative design standards and programs for novel reactor operation, • Streamlining environmental reviews for projects with demonstrated minimal impacts, and • Providing a pathway for limited construction prior to receiving an NRC permit.	
Part57 주요 내용	해당 항목 적용을 통해 추구하고자 하는 방향
1. Approval of fleets of identical reactors	동일 설계 원자로 여러 기 한 번에 승인 (표준모델 대량 배치)
2. Alternative design standards	기존 경수로 기준 외 새로운 설계 기준 허용 (기술중립성 확대)
3. Streamlined environmental reviews	환경영향이 작은 프로젝트는 환경심사 간소화 (임지 확보 기간 단축)
4. Limited construction before permit	일부 공사는 NRC 허가 전에 진행 가능 (프로젝트 일정 단축)

자료: NRC, iM증권 리서치본부

(2) ARDP 프로그램을 통한 재정적 지원

SMR 기술 인허가 검토 기간과 절차 단축을 위한 정책적 지원에 이어, 상용화를 위한 재정적 지원도 적극적으로 이뤄지고 있다. 2020년 5월에 에너지부가 도입한 ARDP(Advanced Reactor Demonstration Program) 프로그램이 가장 대표적이다. 이는 기술 실증단계에서 발생하는 초기 사업 리스크를 완화하고, 상업화 시기를 앞당기기 위해 도입된 것인데, SMR 설계 및 인허가, 건설, HALEU 공급망 구축 등에 투입되는 비용을 정부와 민간 기업이 각각 50% 비율로 분담하는 형태이다.

ARDP 프로그램은 기술 성숙도에 따라 ①상업화 직전 실증 프로젝트를 지원하는 Advanced Reactor Demonstration(ARD), ②중장기 상용화 단계의 기술 리스크 완화를 위한 Risk Reduction for Future Demonstrations(RRFD), ③초반에 기술 개념 설계를 지원하는 Advanced Reactor Concepts(ARC) 등 크게 3개로 나뉜다.

현재 가장 적극적인 개념이라 할 수 있는 ARD 하에서 재정적 지원을 받고 있는 업체는 TerraPower, X-energy 두 곳에 불과하다. 그 중에서도 진행속도가 좀 더 빠른 TerraPower는 현재 와이오밍주 Kemmere 지역에서 소듐냉각고속로(SFR) 기반의 345MW 원자로 실증 프로젝트를 건설하고 있는데, 총 투자비 40억달러 중 최대 20억달러까지는 DOE 지원이 이뤄지는 것으로 파악된다.

X-energy는 텍사스에서 Dow Seadrift 석유화학단지에 고온가스로(HTGR) 기반 80MW 용량 Xe-100 원자로 4기를 건설하는 프로젝트를 추진하고 있다. 그러나 아직까지 NRC 건설승인은 받지 못했고, 빠르면 2026년 말에 승인이 이뤄질 수 있을 것으로 예상된다.

TerraPower, X-energy 외에 아직 기술 성숙도가 높지 않아 상업용 실증 이전에 머물고 있는 Kairo(FHR), Holtec(SMR-160), Westinghouse(eVinci) 등은 향후 10~14년 내 인허가 및 배치 기술을 지원하는 RRFD 트랙 하에서 설계 고도화와 인허가 대응, 시험로 건설 등에 대한 지원을 받고 있다.

이처럼 미국 정부의 Part 53 인허가 체제 도입, ARDP 프로그램 등 SMR 상용화 속도를 높이기 위한 정책적 지원은 향후 SMR이 AI 데이터센터 온사이트 BTM 발전의 기저전원으로 자리잡는데 중요한 기반이 될 수 있을 것이라는 판단이다.

표15. 미국 차세대 원자로 실증 프로그램(ARDP) 사업 개요 및 지원 현황

SMR 모델 (업체명)	SMR 기술 및 운영방식	에너지부 ARDP 지원 금액
Advanced Reactor Demonstrations(ARD): 향후 5~7년 내 NRC 허가를 받아 운영될 수 있는 선진 경수/비경수 원자로 실증		
Natrium (TerraPower - GEV Hitachi社)	소듐냉각고속로	초기 각 8천만달러
Xe-100 (X-energy社)	고온가스로	총 32억달러 지원
Risk Reduction for Future Demonstrations Program(RRFDP): 향후 10~14년 내 인허가 및 배치 기술 지원 (실험, 모델링·시뮬레이션, 안전시스템 개발 등)		
Hermes Reduction-Scale Test Reactor (Kairos Power社)	용융염원자로(불소염)	
eVinci Microreactor (Westinghouse社)	히트파이프 원자로	
BWXT Advanced Nuclear Reactor (BANR) (BWXT社)	고온가스로	초기 각 3천만달러
Holtec SMR-160 (Holtec社)	경수로	총 6억달러 지원
Molten Chloride Reactor Experiment (Southern Company Services社)	용융염원자로(염화염)	
Advanced Reactor Concepts 2020 Program(ARC-20): 2030년대 중반 이후 상용화 가능한 혁신적이고 다양한 설계 기술 지원		
Inherently Safe Advanced SMR for American Nuclear Leadership (ARC社)	소듐냉각고속로	3년간 2,750만달러 지원
Fast Modular Reactor Conceptual Design (General Atomics)	고온가스로	3년간 2,480만달러 지원
Horizontal Compact High Temperature Gas Reactor (MIT)	고온가스로	3년간 390만달러 지원

자료: 미국 에너지부, PwC, iM증권 리서치본부

그림31. DOE, 2020년 ARDP 프로그램으로 TerraPower, X-energy 각각 8천만달러 지원(초기)

U.S. Department of Energy Announces \$160 Million in First Awards under Advanced Reactor Demonstration Program

TerraPower and X-energy awarded \$160 million in initial funding to demonstrate reactors within 5 to 7 years.

자료: DOE, iM증권 리서치본부

그림32. TerraPower, Natrium 프로젝트 투자비의 50%인 최대 2억달러까지 ARDP 지원 획득

TERRAPOWER'S NATRIUM PROJECT AND THE ARDP PARTNERSHIP

TerraPower is building its first plant through a public-private partnership with the U.S. Department of Energy's (DOE) Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP).

This program authorizes a 50/50 cost share and authorizes up to \$2 billion for the Natrium project. TerraPower and partners will match this investment dollar for dollar. The first-of-a-kind cost for the Natrium demonstration plant will include the reactor design and licensing, codes and methods development, fuel development and qualification, and the design, construction and operation of two supporting facilities: the Natrium Fuel Fabrication Facility and Sodium Test and Fill Facility. The sodium facility will be used to test and demonstrate the performance of first-of-a-kind equipment prior to operations in the reactor plant.

자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

2. 두 번째 과제: 경제성(발전단가)

최근 완공된 대형원전을 기준으로 한 대략적인 경제성 비교

SMR 중에서 대형원전과 동일한 경수로 기반의 설계 안정성은 높지만, 아직까지 실제 건설과 상업가동 경험은 전무하다. 비경수로 기반은 운영 경험이 없을 뿐만 아니라, 신규 개발된 기술인 만큼 향후 건설 및 인허가 과정에서 설계 변경 등의 가능성이 높다. 이처럼 여전히 불확실한 변수가 너무도 많은 만큼 현 시점에서 SMR 발전단가를 예측하며 경제성을 논하기는 현실적으로 제약이 많다.

다만, 최근에 신규 완공된 대형원전 투자비를 기준으로 SMR 경제성이 어느정도 될 것인지 간접적인 비교는 시도해볼 수 있다. 2021~2025년 사이에 상업가동을 시작한 총 19개의 원전들 중에서 중국, 러시아와 관련된 프로젝트는 제외하고 총 투자비를 확인할 수 있는 원전들만 대상으로 삼았다. 참고로 건설 공사가 중간에 중단되며 당초 계획보다 공기가 대폭 늘어난 발전소가 일부 있어 원전별 투자비 편차가 매우 큰데, 공급망 붕괴와 Westinghouse 파산 등으로 투자비가 2배 이상 급증한 미국 Vogtle 3, 4호기가 가장 대표적인 사례이다. 다만, 한국처럼 건설비와 공기 측면에서 압도적으로 저렴한 케이스도 있기 때문에 별도 구분없이 일단 프로젝트들을 모두 포함해 대형원전의 평균 투자비를 계산하였다.

이에 기반해 대형원전 건설비를 계산하면 1GW당 평균 투자비는 13.7조원으로 추정된다. 다만, 이들은 2022년 이후 상업가동을 시작했는데, 이후 주요국들에서 공통적으로 나타나고 있는 신규 원전 건설 리쉬와 각종 건설자재비 급등, 인건비 상승 등을 감안하면 현 시점부터 새로 짓는 원전 투자비는 추가 상향될 수 있다. 대표적으로 글로벌 원전 발전소 중에서 가장 최근에 수주가 이뤄진 프로젝트 중 하나인 체코 두코바니 5, 6호기 총 투자비가 1GW 기준 14조원에 달했음이 이를 방증한다. 참고로 두코바니 5, 6호기는 대형원전 기술을 보유한 국가들 중에서도 건설비 경쟁력이 높은 한수원이 수주한 프로젝트이다. 향후 Westinghouse, EDF 등 다른 원전업체들이 북미와 유럽 지역에서 수주하는 원전 건설비는 이번 한국 한수원의 건설비보다 더 높아지면 높아졌지, 더 낮아지기는 어렵다.

표16. 2021~2025년 상업가동 시작한 신규 대형원전들의 용량 및 투자비 비교

프로젝트	국가	노형	설비용량 (MW)	착공	상업운전 (COD)	운영 주체	총 투자비	1GW 기준 투자비(조원)
Olkiluoto #3	핀란드	EPR	1,600	2005	2023	TVO	110~120억 유로	12.8
Flamanville #3	프랑스	EPR	1,630	2007	2024~2025	EDF	132억 유로	13.8
Mochovce #3	슬로바키아	VVER-440	471	1985	2023	Slovenské Elektrárne	60억 유로 이상	21.7
Barakah #1~4	UAE	APR1400	5,600	2012~2015	2021~2024	Nawah Energy	약 200억 달러	5.4
신한울 #1,2	한국	APR1400	2,800	2012~2013	2022~2024	한국수력원자력	10.3조원	3.7
Vogtle #3,4	미국	AP1000	2,234	2013	2023~2024	Southern Nuclear	350~370억달러	24.8
두코바니 #5,6	체코	APR1000	2,000	아직 착공 전(2029년 예정)		ČEZ Group	약 4000억 코루나	14.0
2021~2025년에 상업가동 시작한 신규 원전 프로젝트의 1GW 기준 평균 투자비								13.7

자료: iM증권 리서치본부, 주: 착공기간 환율은 더 낮았지만, 비교의 용이성을 위해 모든 투자비의 환율은 달러 1,500원, 유로 1,700원으로 가정하였음

신규 대형원전 건설 예상 투자비 1GW 기준 최소 14조원 내외

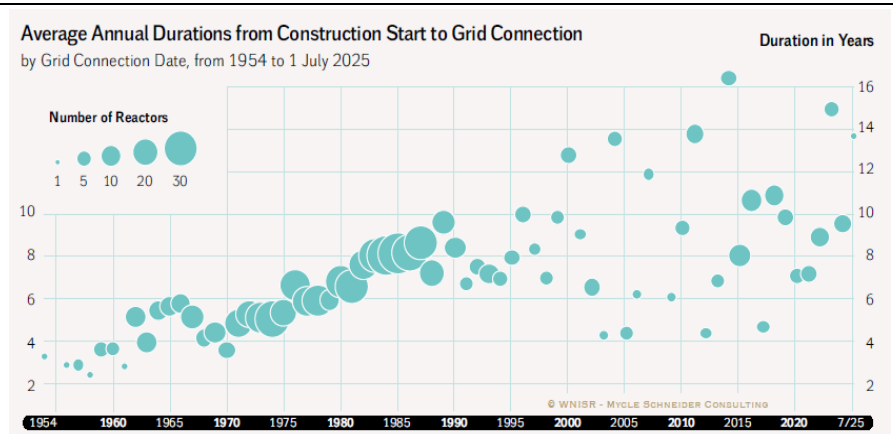
최근 상업가동을 시작한 것과 신규 수주가 이뤄진 원전들 투자비를 고려했을 때 앞으로 대형원전 건설에 투입되는 비용은 1GW 기준 최소 13~14조원 내외에는 달할 것으로 예상된다. 현재 미국 SMR 업체들 중에서 NRC의 건설허가를 받고 실제 상업용 발전소를 건설하고 있는 곳은 TerraPower가 유일하다. 와이오밍 지역에 건설 중인 소듐냉각고속로(SFR) 기반 Kemmerer #1 프로젝트의 투자비는 발전용량 345MW 원자로 기준 총 40억달러로 파악되는데, 이를 단순히 GW 기준으로 환산하면 115억달러, 원화 기준으로는 17조원 수준으로 계산된다.

이미 표준화된 기술에 공급망 붕괴로 건설비가 더 낮아질 가능성은 제한적

이는 대형원전 대비 투자비가 약 20~30% 더 높은 만큼 분명 경제성을 논하기엔 적절하지 않다. 다만, 대형원전은 1960~1970년대부터 건설이 본격화되기 시작한 이후 약 60~70년 동안 기술을 표준화하면서 규모의 경제를 달성했고, 반복적인 건설 과정에서 학습효과도 창출되며 비용을 절감할 수 있었다. 그러나 최근에는 미국 내 원전 공급망과 숙련 인력 부족으로 대형원전 건설기간이 10년 내외로 점점 길어지고 있고, 금융비용 등의 급증으로 LCOE 상승세도 계속되고 있다. 최근 공급망 재건을 지원하고 있긴 하나, 단기에 인프라를 확보하긴 쉽지 않고 물가상승까지 감안하면 향후 대형원전 건설비가 더 낮아질 가능성은 제한적이다.

반면, SMR은 이제 시작하는 단계인 만큼 중장기적으로는 학습효과를 통한 비용 절감을 기대해볼 수 있다. 지금은 기술별로 설계를 인증받거나 운영 안정성 및 상업성 등을 검증하고 있는 만큼 향후 설계변경과 인허가 재심사가 반복되면서 단기적으로 비용이 추가될 가능성을 배제할 수 없다. 그러나 첫 번째 프로젝트를 통해 안정적인 운영을 검증하고 두 번째 이후부터는 NRC의 인허가 절차 단축 가능성이 높다. 또한 소형원자로 모듈 생산, 조립이 반복적으로 이뤄짐에 따른 학습효과로 비용 축소도 기대해볼 수 있다.

그림33. 2025년까지 글로벌 대형원전 완공에 소요된 기간 추이



자료: WNISR, iM증권 리서치본부

TerraPower 2031~2032년 기점으로 학습효과 창출되며 건설비 절감 언급

이번 TerraPower 방문에서는 Chris Levesque CEO 및 여러 실무 담당자들로부터 소듐냉각원자로에 대한 기술적 부분과 회사에서 바라보는 향후 프로젝트 경제성 등에 대한 이야기도 나눌 수 있었다. 회사는 Kemmerer #1 완공 이후 학습효과가 창출되는 시점을 대략 7~8번째 원자로 조립 전후로 전망했으며, 이로 인한 SMR 투자비 절감은 실증 프로젝트 대비 20~30% 내외로 예상하고 있다.

앞서 최근 가동된 대형원전 투자비를 고려했을 때 향후 신규 원전 건설 투자비는 1GW 기준 최소 13~14조원으로 추정했다. 현재 건설 중인 TerraPower 첫번째 프로젝트의 1GW 기준 투자비는 약 17조원으로 대형원전 대비 20~30% 높은데, TerraPower가 언급한 학습효과 그대로 적용하면 향후 투자비 차이는 그리 크지 않음을 의미한다. 특히 학습효과가 발생하는 7~8번째 원자로 조립 시기는 첫번째 실증 프로젝트 상업가동이 시작된 2031년 직후로 밝혔는데, Kemmerer #1 발전소 건설에 3년 정도 소요되는 것을 감안하면 이론상 2034~2035년에는 대형원전과 비슷한 투자비로 SMR 상업가동이 가능해짐을 의미한다.

또한 TerraPower는 2024년 9월 MS-Constellation Energy 사이에 체결됐던 PPA 계약을 비교하며 이와 비슷하거나 더 낮은 가격의 발전단가를 확보할 수 있다고 밝혔다. MS-Constellation 측에서 공식적으로 PPA 금액을 밝히진 않았으나, 일부 언론보도에 따르면 835MW 용량의 Three Mile Island #1 원전을 재가동해 대략 \$110~120/MWh 가격에 20년 동안 전력을 장기로 공급받는 것으로 파악된다.

표17. 대형원전과 TerraPower 건설비 비교

구분	1GW 기준 건설비	세부 내용
2021~2025년 상업가동 시작한 대형원전 평균	13.7조원	이미 기술 표준화와 공급망 붐으로 추가 감소 가능성은 제한적일 듯
TerraPower 실증 프로젝트 #1	17.5조원	345MW 용량 기준 총 투자비 4억달러
학습효과 20% 가정한 TerraPower 실증 프로젝트 #7~8	13.6조원	첫 번째 프로젝트 투자비 대비 학습효과 20% 창출 가정
학습효과 30% 가정한 TerraPower 실증 프로젝트 #7~8	11.9조원	첫 번째 프로젝트 투자비 대비 학습효과 30% 창출 가정

자료: iM증권 리서치본부

그림34. MS-Constellation Energy, 대형원전 기반 PPA 계약금액 약 \$110~115 내외로 추정

Microsoft may pay Constellation premium in Three Mile Island power agreement, Jefferies says (Sept 23)

Jefferies estimated that Microsoft might pay Constellation about \$110-\$115 per megawatt hour (MWh) as part of the 20-year-long fixed price PPA.

The brokerage's analysts said the estimated cost represents a significant premium to market expectations, which are in the low \$100 per MWh for a collocated deal.

자료: Reuters, iM증권 리서치본부

2030년대 중반에는 대형원전과 발전단가 측면에서 경쟁해볼 여지가 생길지도

EIA는 2031년에 신규 진입하는 원전의 LCOE를 MWh 기준 88달러로 전망하고 있다. 참고로 이는 PTC 등의 세제혜택이 포함된 수치이다. OBBBA 법안에 따라 2032년까지 원자력 발전소가 착공되면 10년 동안 PTC 혜택을 받을 수 있다. 2033년부터는 그 비율이 줄어 2035년 이후 착공되는 발전소는 수량이 불가하다. 착공 시점의 불확실성이 있는 만큼 보수적으로 PTC 혜택을 제외하고 LCOE를 계산하면 120달러 내외로 계산되는데, 이는 앞서 확인한 2023년 Microsoft가 Constellation 원전 재가동 대상으로 체결한 PPA 금액과 유사한 수준이다.

PPA 가격은 LCOE에 투자비 회수와 발전사 마진 등을 포함해서 결정하는 만큼 2030년대 초반 대형원전 발전단가가 120달러라는 것은 향후 체결되는 원전 기반 PPA 가격 역시 현재보다 높아질 수 있음을 의미한다. 또한 TerraPower가 언급한 것처럼 학습효과로 2030년대 중반 이후 SMR 건설비용이 현재보다 약 20~30% 낮아질 경우, SMR 발전단가도 대형원전 수준으로 근접할 수 있다. 이는 지금까지 경제성 측면에서 절대적으로 열위한 SMR이 향후에는 대형원전과 유사한 수준의 전력 공급비용을 구현할 수 있게 되는 만큼 AI 데이터센터 입장에서 SMR을 기저전원으로 활용하는데 비용부담이 상당부분 완화될 수 있음을 시사한다.

그림35. EIA, 2031년 상업가동 기준 각 발전원별 LCOE 비교 전망

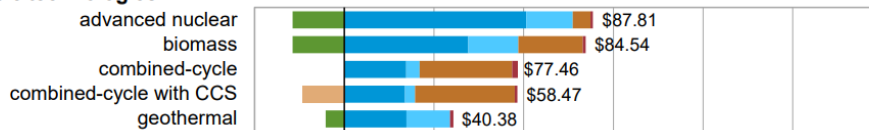
Estimated average levelized cost of electricity (LCOE) and levelized cost of storage (LCOS) for new resources entering service in 2031

Average levelized cost of electricity and levelized cost of storage for new resources entering service in 2031 by technology, AEO2026 Counterfactual Baseline case

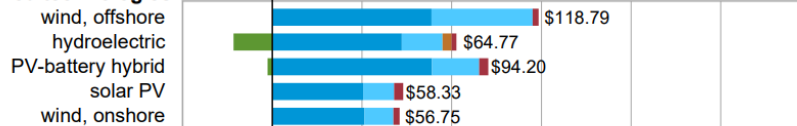
2025 dollars per megawatthour



dispatchable technologies



resource-constrained technologies



capacity resource technologies



levelized capital cost
levelized fixed O&M
levelized variable O&M
levelized transmission cost
levelized tax credit
levelized captured carbon credit

자료: EIA, iM증권 리서치본부

주: 해당 시나리오에는 OBBBA 법안의 PTC 혜택 수량이 가정되어 있음. 따라서 이를 감안한 우측 숫자에서 녹색(좌측) 부분 만큼의 금액을 추가해서 계산하면 보수적으로 PTC 효과를 제거한 발전원별 LCOE 수준 파악 가능

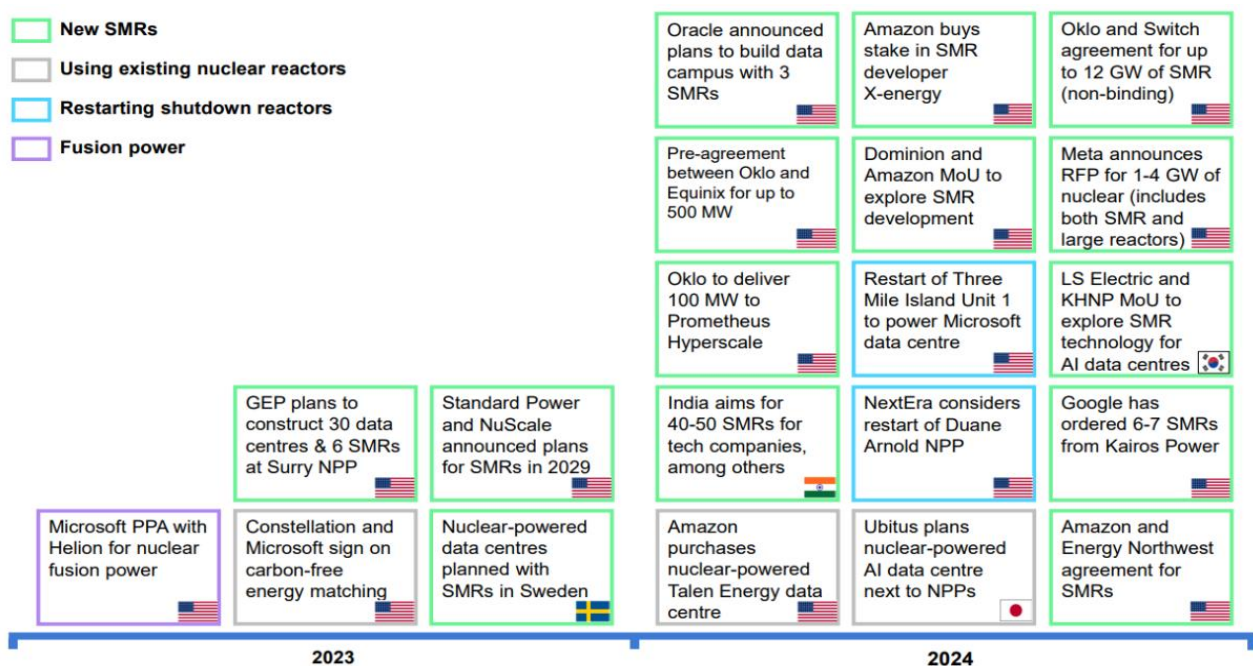
빅테크 업체들의 SMR 도입 전략

2014년 RE100 출범 이후 Google, MS, Amazon, Meta 등 빅테크 업체들은 이에 동참하며 재생에너지 PPA 체결을 대폭 늘리기 시작했다. 그러나 AI 데이터센터 확대에 앞으로 이들이 사용할 전력은 불과 5년 전 예상했던 것보다 훨씬 늘어날 수밖에 없다. 기존 재생에너지 PPA는 탄소중립 목표를 달성하기에는 유효하지만, 대용량의 전력을 안정적으로 공급하기에는 절대적으로 한계가 있다.

특히 그리드 연결에 소요되는 기간이 점점 길어지고 있고 계통망 노후화로 인한 품질문제에 이어, 최근에는 데이터센터 전력 수요에 대한 규제가 점차 강화되는 추세이다. 이에 따라 AI 데이터센터는 그리드 의존도 축소를 위해 전력 직접 확보 전략을 점점 더 진지하게 고려해야만 한다. 온사이트 발전소 구축 과정에서도 중장기적으로는 독립발전을 지원할 수 있는 기저전원이 확보돼야 하는데 여기서 탄소배출에 대한 고려도 완전히 배제할 수는 없다.

앞서 언급한 것처럼 SMR은 GW 단위로 확대되는 AI 데이터센터에서 기저전원 역할을 하기에 가장 적합한 발전원이 될 수 있을 것으로 예상하는데, 최근 빅테크 업체들 역시 SMR에 대한 관심이 높다. 아직까지 미국에서 NRC 허가를 온전히 받았거나 상업화 된 기술은 없으나, 2030년대 초중반 상업가동을 목표로 Google, Amazon, Meta 등 대부분의 빅테크 업체들이 TerraPower, Oklo, Kairos 등 주요 SMR 업체들과 건설계약을 이미 체결했거나 전략적 투자를 진행하고 있다.

그림36. 글로벌 빅테크들의 AI 데이터센터 운영을 위한 SMR, 원전 활용 움직임



자료: IEA, iM증권 리서치본부

(1) Amazon: X-energy 재무적 투자자이자 전략적 투자자로서 적극 참여

Amazon은 빅테크 중에서도 차세대 SMR 상용화 프로젝트에 가장 적극적으로 참여하고 있는 업체 중 하나이다. 헬륨을 냉각재로 사용하는 고온가스로(HTRG) 기반의 원자로를 개발 중인 X-energy에 재무적 투자 뿐만 아니라 이사회 의석도 확보하는 등 전략적 투자자로 참여하고 있다. 이를 바탕으로 향후 Xe-100 모델 상용화가 이뤄지면 Amazon은 Energy Northwest와 워싱턴에 최대 12기 원자로 조립을 통해 총 960MW 용량의 발전소를 건설한다는 개발협약을 체결했다.

버지니아주 최대 유틸리티 업체인 Dominion Energy와도 버지니아에서 SMR을 개발하기 위한 업무협약을 체결하며 신규 원전 프로젝트 개발에 참여하고 있다. 이처럼 Amazon은 SMR 가동으로 생산되는 전력을 단순히 구매하는 것을 넘어, 투자자이자 SMR 프로젝트 개발업체로서의 역할도 맡으려는 모습이다.

(2) Google: Kairos와의 협력, 2030년 100% 무탄소 발전 달성을 위해 SMR 절실

Google은 용융염로(MSR) 기반인 Kairos Power와 SMR 협력을 모색하고 있다. KP-FHR 모델이 상용화되면 전력을 단계적으로 공급받는 계약도 이미 체결했다. Kairos Power는 미국 NRC에서 건설승인을 받고 현재 테네스에서 Hermes 실증 프로젝트를 건설 중인 하나, 상업용 가동이 아니라 데이터 수집과 기술 검증을 위해 이뤄진 승인이라는 점은 주지할 필요가 있다. Hermes 실증 프로젝트는 2029년 완공 및 시험가동으로 기술 검증을 거친 후 2030년대 중반 상업가동하는 것을 목표로 하고 있다. 이후에는 소형원자로 모듈 추가 조립을 통해 2035년까지 총 500MW 규모의 발전용량을 확보할 계획이다.

지난 2020년 9월 Google은 ESG 정책과 관련해 2030년까지 모든 사업장에서 사용하는 전력을 100% 무탄소 전원으로 확보하겠다는 24/7 Carbon-Free Energy 계획을 발표한 바 있다. 이후 대규모 AI 인프라 구축에 필요한 전력을 확보해야 한다는 부담에도 불구하고, 이 같은 전략은 여전히 변함없음을 2026년 5월 재차 공식화했다. 최근 발전원에 상관없이 AI 데이터센터들이 전력을 확보하기가 점점 어려워지고 있는 만큼 향후 목표시기를 늦추는 등 당초 대비 완화 가능성도 높다.

다만, 구체적인 시점을 떠나서 24/7 Carbon-Free Energy 전략에 변화가 없다면, Google이 선택할 수 있는 발전원은 태양광과 풍력, 지열 등의 재생에너지와 원전 정도에 그친다. 재생에너지만으로는 24시간 내내 안정적인 전력수급을 충족하기 어려운 만큼 궁극적으로는 그 간헐성을 보완하기 위한 상시 전원으로 SMR 활용 가능성이 높다는 판단이다.

(3) Meta: Vistra, Oklo, TerraPower 등과 협력해 총 6.5GW 발전용량 확보 목표

Meta는 특정 SMR 업체와의 독점적인 협력보다는 AI 데이터센터 운영에 필요한 장기적인 기저발전원 확보 자체에 좀 더 초점을 맞추고 있는 모습이다. 이에 지난 2024년 12월 미국에서 2030년대 초반부터 사용할 수 있는 1~4GW 용량의 신규 원전을 확보하기 위해 공개적으로 RFP(request for proposals)를 발표했다. 여기서 대형원전으로는 Vistra, 소형원자로에서는 Oklo, TerraPower 등 총 3곳의 업체가 협력 파트너로 선정되었고, 이를 통해 총 6.5GW 용량을 확보한다는 계획이다.

가장 우선적으로 Vistra 대형원전을 통한 전력 장기구매로 2.5GW 용량 확보하고 보다 중장기적으로 Oklo, TerraPower 모델이 상업화되면 이들을 통해 총 4GW SMR 발전소 구축을 목표로 하고 있다. 이처럼 대형원전과 차세대 소형원전을 함께 활용하고, SMR 중에서도 2개 업체와 동시에 협력관계를 형성하는 것은 아직까지 상업화 초기 단계인 만큼 향후 규제기관 승인과 운영 등의 불확실성을 해소하기 위함으로 해석된다. 또한 2030년대부터 보다 본격적으로 급증할 AI 데이터센터의 전력 수요에 어떻게든 대응하겠다는 Meta 의지를 보여주는 것이기도 하다.

(4) Microsoft: SMR보다는 검증된 대형원전을 우선 활용하려는 전략

Microsoft의 경우 아직까진 다른 빅테크 대비 SMR 도입에 있어 다소 보수적인 입장이다. 신규 기술에 대한 건설승인과 운영 등의 불확실성을 부담하는 것보다 기존 원전을 재가동해서 1~2년 내에 대규모 전력을 안정적으로 확보하는 전략을 취하려는 모습이다. 2027~2028년부터 Constellation Energy의 Three Mile Island 원전을 재가동해 20년간 전력을 공급받는 계약을 체결한 것이 가장 대표적이고, 그 외 SMR 업체들과 전략적 투자 혹은 공급계약을 체결한 바는 아직까지 없다.

빅테크들은 이제 단순히 ESG 관점에서 무탄소 발전 확보를 넘어 AI 데이터센터 운영에 필요한 기저전원 확보 수단으로 원전을 활용하려는 움직임이 뚜렷해지고 있다. 물론, 아직까진 빅테크와의 SMR 협력이 기술 개발과 실증 단계에 그치는 만큼 향후 상업화 여부를 지켜볼 필요는 있다. 다만, 정부 차원에서 정책적 뿐만 아니라 자금 지원도 적극적으로 늘리고 있고, 빅테크들도 직간접적 투자로 SMR 상용화에 힘 쓰고 있어 2030년대 초중반에는 AI 데이터센터 전력 포트폴리오에 있어 SMR이 꽤나 유의미한 선택지로 부상할 수 있을 것으로 판단한다.

표18. 주요 빅테크 업체들과의 SMR 협력 내용

빅테크 업체	주요 협력 대상	기술 유형	협력 형태	현재 단계 및 향후 계획
Amazon	X-energy	고온가스로 (HTGR)	전략적 투자 및 프로젝트 참여	2026년 12월 NRC 건설승인 목표 이후 워싱턴에 총 960MW 용량 확보 예정
Google	Kairos Power	KP-FHR (불화염 냉각 고온로)	장기 전력구매 계약(PPA)	2029년 실증 프로젝트 완공 예정 2035년까지 총 500MW 용량 확보 예정
Meta	Vistra(대형원전) Oklo, TerraPower(SMR)	소듐냉각고속로 (SFR)	PPA 및 SMR 프로젝트 건설	PPA 체결(Vista)로 2.5GW 용량 확보 SMR(TerraPower, Oklo)로 4GW 용량 확보 예정
Microsoft	Constellation(대형원전)	기존 대형원전 재가동	장기 전력구매 계약(PPA)	2023년 9월 PPA 체결 완료, 향후 20년간 공급 예정

자료: iM증권 리서치본부

IV. SMR 기술 및 개발 현황

대형원전 및 SMR 기술 구분, 개발현황

기술형태와 발전과정, 냉각재 종류에 따라 구분되는 1~4세대 원전 기술

원전은 기술 형태와 발전과정을 기준으로 크게 1~4세대로 구분할 수 있다. 초기 1세대와 2세대는 사실상 대형원전의 실증 및 상업화를 위한 초기 형태에 가깝다. 현재 상업가동 또는 신규 건설 중인 대형원전 대부분이 3세대인데, 그 중에서도 주력 기술로 자리잡은 PWR에서 가장 대표적인 모델은 한국 APR1400(한수원), 미국 AP1000(Westinghouse), 프랑스 EPR(EDF) 등이다.

최근에는 대형원전보다 용량이 작은 소형원자로 SMR 개발이 활발하게 이뤄지고 있는데, SMR 안에서는 사용하는 냉각재 종류에 따라 3.5세대와 4세대로 나뉜다. 대형원전과 동일하게 물을 냉각재로 사용하는 PWR, BWR 기반 방식을 3.5세대, 그 외에 소듐과 헬륨 등 물이 아닌 냉각재를 사용하는 기술이 4세대에 해당한다.

AI 데이터센터 기저발전원으로 활용되기에 적합한 장점을 가진 SMR

대형원전은 통상 1GW 이상의 대용량 출력을 전제로 설계되며, 대규모 송전망과 장기간의 건설이 필요하다. 반면, SMR은 수십~수백MW 규모의 원자로 모듈을 여러 개 조합하는 방식으로 필요한 전력량에 맞춰 설계하고, 향후 단계적 증설이 가능하다. 이 같은 특성은 단기 내 건설을 가능하게 할 뿐만 아니라, 입지 선택의 유연성과 투자 효율성을 높일 수 있다. 따라서 SMR은 특정 지역에서 안정적인 대규모 상시전력 공급을 요구하는 AI 데이터센터의 기저발전원으로 활용되기에 가장 적합한 발전원으로 활용될 수 있다는 판단이다.

그림37. 세대별 원전 구분



자료: 한전원자력연료, iM증권 리서치본부

1. 대형원전: 경수로 기반의 가압경수로(PWR), 비등경수로(BWR)

안정성 측면의 우위로 글로벌 대형원전의 주력 기술로 자리잡은 PWR

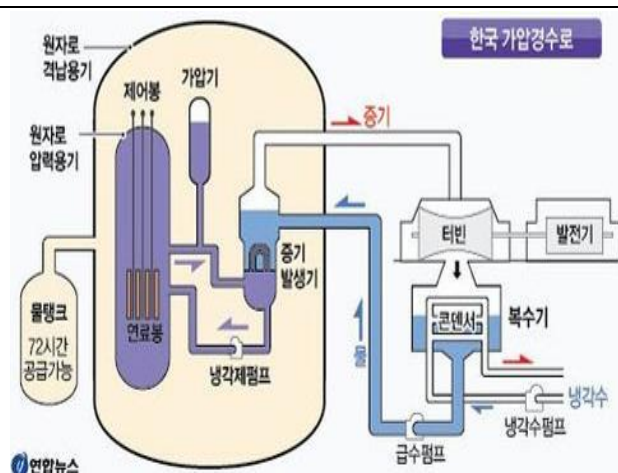
현재 글로벌 원전 시장에서 가장 대표적으로 운영되고 있는 대형원전은 경수로 계열이다. 경수로로는 물을 냉각재와 감속재로 사용하고, 핵분열 과정에서 발생한 열로 증기를 만들어 스팀터빈을 돌려 전기를 생산하는 방식이다.

경수로로는 크게 가압경수로(PWR, Pressurized Water Reactor), 비등경수로(BWR, Boiling Water Reactor) 방식으로 구분할 수 있는데, 두 기술의 결정적인 차이는 터빈을 가동시킬 증기가 원자로와 분리된 계통에서 생산되는지 원자로 내부에서 생산되는지에 달려 있다. 전자인 PWR 방식은 안정성 측면에서, 후자인 BWR 방식은 효율성 측면에서 장점을 가진다.

대형원전 도입이 시작된 완전 초반에는 선호도의 차이가 그리 크지 않았으나, 1979년 미국 쓰리마일섬과 1986년 체르노빌, 2011년 일본 후쿠시마 등의 사고를 겪으면서 이제는 상대적으로 안정성 측면에서 장점을 가지는 PWR 노형이 훨씬 더 선호되고 있다. 이에 현재 전 세계에서 가동 중인 원전 중 가압경수로(PWR) 비중이 70% 이상에 달하며 완전히 주력 기술로 자리잡았다. 글로벌 원전 산업의 주류 기술과 연료 공급망, 기자재 산업 역시 PWR 중심에 맞춰 구축되어 있다.

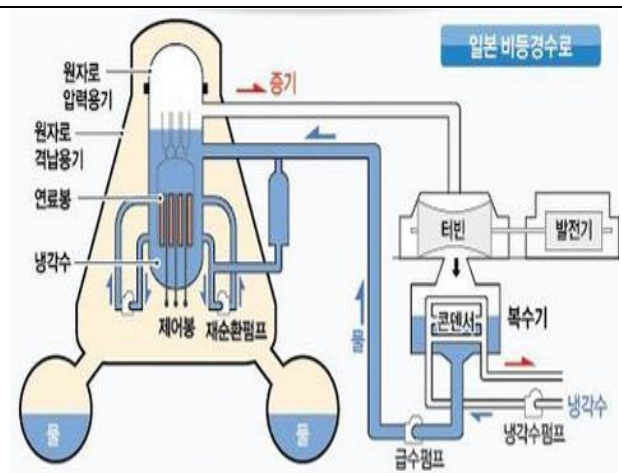
대부분의 국가에서는 경수로 기반 대형원전 설계수명을 40년 내외로 제한하고 있으나 실제로는 수명연장 등을 통해서 최대 60~70년까지는 운영하는 추세이다. 약 18~24개월 주기로 이뤄지는 연료교체 및 정기보수 등을 제외하면 이용률은 90% 내외에 달하는 대표적인 기저전원으로서 활용되고 있다. 다만, 건설 후에는 고출력으로 장기간 안정적인 운전이 가능하다는 장점이 있지만, 초기 건설비용이 높고 공사 기간이 매우 길며 대규모 송전 인프라가 필요하다는 한계도 존재한다.

그림 38. 가압경수로(PWR) 대형원전 구동 방식



자료: 연합뉴스, iM증권 리서치본부

그림 39. 비등경수로(BWR) 대형원전 구동 방식



자료: 연합뉴스, iM증권 리서치본부

PWR 원자로 구성 및 각 부품별 기능: 제어봉, 감속재, 냉각재 펌프, 복수기 등

2024년 말 기준 글로벌 운영 가능 원전은 총 440기인데, 이 중에서 PWR 기반의 원전이 313기로 71%, BWR 기반은 60기로 약 14% 내외를 각각 차지하고 있다. 가압경수로(PWR), 비등수형경수로(BWR) 기술은 터빈을 구동할 증기가 원자로 내부에 있냐 분리되어 있냐 등에서만 차이가 있을 뿐, 그 외에 구동되는 원리는 거의 동일하다. 이에 따라 3세대 원전의 대부분을 차지하는 PWR 기준으로 주요 부품과 역할을 보더라도 전체적인 구동방식을 이해하는데 무리가 없다.

제어봉과 감속재는 중성자 수와 에너지를 조절해 핵분열 연쇄반응을 안정적으로 유지하는 역할을 수행한다. 우라늄 원료에 중성자가 부딪히면 열과 추가 중성자 방출 과정이 반복적으로 일어나고 이 과정에서 또다른 원자핵의 분열을 일으키게 되는데, 이를 연쇄반응이라고 한다. 그러나 연쇄반응이 과도해지면 폭발적인 양의 열과 방사능이 급격하게 방출될 수 있기 때문에 이를 제어해야만 한다. 따라서 제어봉과 감속재를 통해 연쇄반응을 안정적으로 유지하는 한편, 이 과정에서 발생한 열은 핵연료에서 냉각재로 전달된다.

핵연료에서 열을 흡수한 고온의 냉각재는 증기발생 계통으로 이동해야 하는데, 냉각재 펌프가 냉각재 순환을 담당한다. 냉각재가 원자로와 증기 발생기 사이를 지속적으로 순환할 수 있도록 냉각재 펌프가 유량과 압력을 유지해주는 것이다. 다만, BWR 방식은 원자로 내부에서 직접 증기를 발생시키는 구조이기 때문에 재순환펌프가 원자로 내부 냉각수 유량을 조절하며 노심 출력을 제어한다. 이는 원자로와 증기발생기 사이의 1차 냉각재를 순환시키는 PWR과는 다른 구조이다.

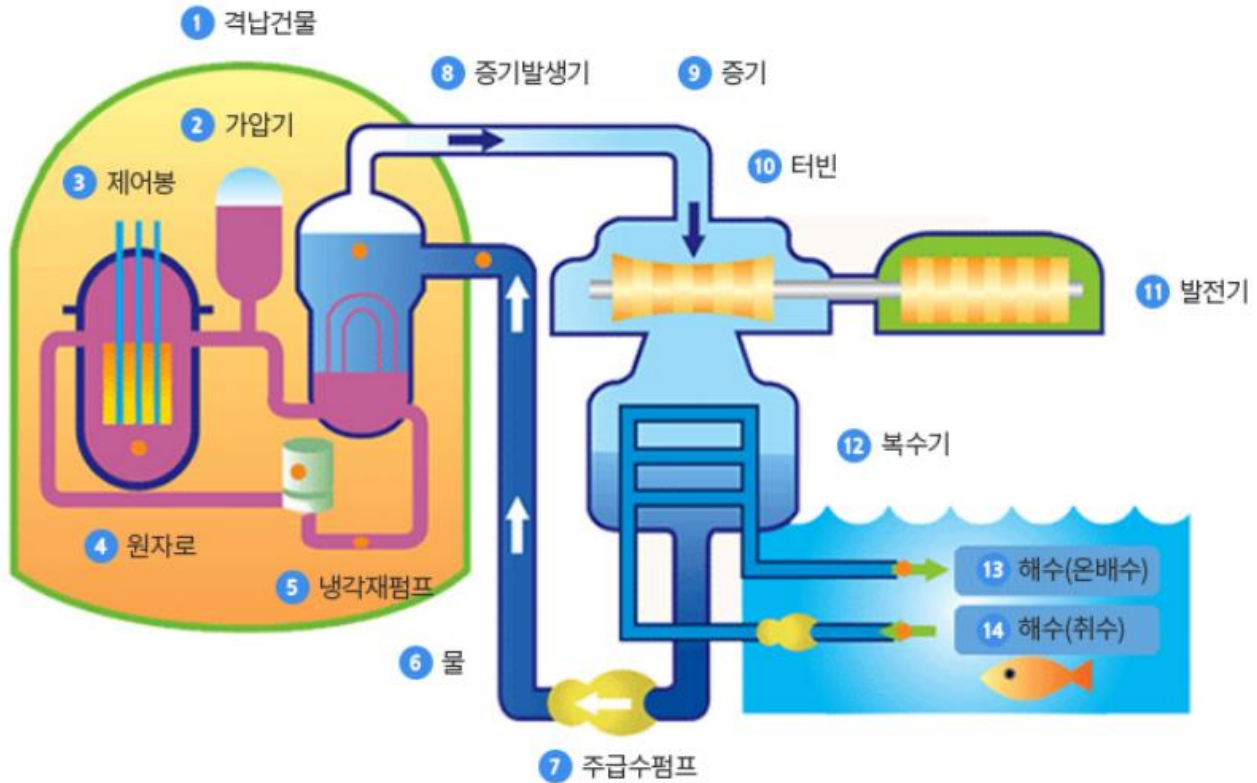
증기발생기에서 생성된 고온고압의 증기는 터빈으로 공급되어 터빈을 회전시키고 이 과정에서 열에너지가 기계에너지로 변환된 이후, 터빈축에 연결된 발전기가 회전하면서 전력이 생산된다. 터빈과 발전기를 지난 저압증기는 복수기에서 바닷물과 강물 같은 냉각수와의 열교환을 통해 물로 다시 응축된다. 응축된 물은 급수계통을 거쳐 다시 증기발생기로 공급되며, 이를 통해 발전소 내의 물과 증기 순환사이클이 유지된다.

표19. 2024년 말 기준 글로벌 원자로 유형별 운영 가능한 원전 수와 비중 (2024년 말 기준)

(단위: 기, %)	아시아	중유럽/서유럽	북미	동유럽/러시아	남미	아프리카	Total	% share
PWR	109	96	63	41	2	2	313	71.1%
BWR	19	8	33	-	-	-	60	13.6%
PHWR	24	2	17	-	3	-	46	10.5%
LWGR	-	-	-	10	-	-	10	2.3%
GCR	-	8	-	-	-	-	8	1.8%
FNR	-	-	-	2	-	-	2	0.5%
HTGR	1	-	-	-	-	-	1	0.2%
Total	153	114	113	53	5	2	440	100.0%

자료: World Nuclear Association, IAEA PRIS, iM증권 리서치본부

그림40. 원자력 발전소 개념도 및 주요 기기 개요 (가압경수로 기준)



자료: 한전원자력연료, iM증권 리서치본부

표20. 원자력 발전소 부품별 기능 요약 (가압경수로 기준)

구분	기능
① 격납건물	원자로와 1차 계통을 가두어 방사성물질 외부 누출을 방지함
② 가압기	압력을 높게 유지해 물이 끓지 않도록 조절함
③ 제어봉	핵분열 반응 속도와 출력을 조절하며 필요 시 원자로를 정지함
④ 원자로	핵연료의 핵분열로 열을 발생시켜 1차 냉각재인 물을 가열함
⑤ 냉각재펌프	1차 냉각재를 원자로와 증기발생기 사이에서 순환하도록 함
⑥ 물	2차 계통의 작동유체로 증기발생기에서 열을 받아 증기로 변환됨
⑦ 주급수펌프	복수기에서 물로 돌아온 급수를 증기발생기로 압송함
⑧ 증기발생기	1차 계통의 열을 2차 계통의 물에 전달해 증기를 만들어 냄
⑨ 증기	터빈을 회전시키는 고온·고압의 작동유체 역할을 수행함
⑩ 터빈	증기의 열·압력 에너지를 회전 운동 에너지로 변환함
⑪ 발전기	터빈의 회전 운동을 전기 에너지로 변환함
⑫ 복수기	터빈을 지난 증기를 냉각해 다시 물로 응축시킴
⑬ 해수(온배수)	복수기 냉각에 사용된 뒤 따뜻해져 바다로 배출됨
⑭ 해수(취수)	복수기에서 증기를 식히기 위해 바다에서 끌어오는 냉각수 역할을 함

자료: 한전원자력연료, iM증권 리서치본부

2. SMR: 대형원전의 한계점을 보완하기 위해 개발되고 있는 소형원전

SMR(Small Modular Reactor)은 단순한 소형원전이 아니라 대형원전의 한계점인 높은 투자비와 오랜 건설기간, 한정적인 입지 등을 개선하기 위해 원자로 출력을 줄이고 모듈화하는 일종의 플랫폼 개념으로 볼 수 있다. 소형 원자로를 공장에서 대량 생산하여 투자비와 건설기간 축소가 가능하고, 대형원전 대비 출력이 작고 단순일체형으로 설계되는 구조적 특성상 사고가 발생했을 때 안정성도 더 높다.

현재 SMR 원자로 상업가동 중인 지역은 중국과 러시아 정도에 그친다. 중국은 2023년부터 고온가스로(HTFR) 기반의 HTR-PM 원자로를 가동하기 시작했고, 러시아는 2020년부터 해상 부유형태로 대형원전을 축소한 PWR 기반 KLT-40S 원자로를 운영 중인 것으로 파악된다. 반면, 미국에서는 아직까지 표준화 또는 상업화된 SMR 기술이 부재한데, 2~3개 업체 정도만이 설계인증 또는 건설허가 취득하고 2030년대 초중반 상업가동을 목표로하고 있다.

다만, 아직까지 SMR 기술 경제성은 입증되지 않았다. 대형원전은 이미 60~70년 동안 설계와 건설, 운영을 반복하면서 규모의 경제와 학습효과를 누리고 있으나 SMR은 표준기술이 마련된 이후 반복적인 설계와 모듈 생산을 통해 학습효과 및 공장형 대량생산의 효율성이 확보돼야 한다. 특히 미국 SMR 시장은 기술 개념 검증은 넘어 이제 막 실증단계에 진입해 초기 프로젝트 진행 과정에서 인허가와 공급망, 연료 조달, EPC 비용 등의 불확실성은 어느정도 불가피할 전망이다.

표21. 대형원전과 SMR 비교(상), 국내외에서 개발 중인 SMR 기술(하)

구분	대형 원전	SMR
출력	1000MW 이상	300MW 이하
부지 면적	573㎡/MW (APR1400 기준)	대형원전 대비 절반
건설기간	6년~10년	3년 이내
안전성	대형 재난재해 시 사고발생 가능성	일체형 설계, 피동형안전계통으로 사고발생 가능성 낮음
경제성	규모의 경제, 60~70년간의 운전으로 학습효과 및 기차출	대량 생산으로 경제성 확보 가능, 다만, 학습효과 창출 필요
운영 탄력성	대용량 출력 고정 (기저부하)	부하 추종 운전 용이

CANADA StarCore Nuclear USA mPower NuScale W-SMR SMR-160 EM GT-MHR PRISM G4M Xe-100 SC-HTGR ARGENTINA CAREM-25	FRANCE Flexblue ITALY IRIS SOUTH AFRICA PBMR HTMR-100		RUSSIA ELENA VK-300 KLT-40S SVBR-100 BREST300-OD VVER-300 VVER-300 RITM-200 ABV6-M MHRs UNITERM SHELF RUTA-70 CHINA HTR-PM ACP-100 CEFR	KOREA SMART URANUS JAPAN DMS IMR 4S INDIA PFBR-500 AHWR-300 PHWRs
---	--	--	---	--

국내 SMR 개발				해외 SMR 개발			
							
SMART KAERI '12년 7월 표준설계 인가	BANDI-60S 한전기술(주) 해수담수화 개념설계 단계	NuScale NuScale(미) 자연순환 표준설계인가(20년 8월)	BWRX-300 GE-Hitachi(미) BWR 노형 NRC예비심사중	NuWard EDF(프) 블록형, 개념설계 '30년 건설계획	UK SMR Rolls-Royce(영) 440MWc, 루프형 '30년 건설계획	KLT-40S OKBM(러) 블록형, 해상원전 상업운전중(19)	ACP100 CNNC(중) 원전부지 선정 '25년 준공 계획

자료: 아시아경제, IAEA, iM증권 리서치본부

대형원전과 동일한 PWR, BWR 방식의 3.5세대 SMR 기술

SMR 기술은 냉각재로 어떤 물질을 사용하냐에 따라 3.5세대와 4세대로 나뉜다. 대형원전과 동일하게 물을 냉각재로 사용하는 PWR, BWR 기반 방식을 3.5세대, 그 외에 소듐과 헬륨 등 물이 아닌 냉각재를 사용하는 기술이 4세대로 구분된다.

다만, 대형원전과 동일한 방식의 3.5세대라 하더라도 냉각재만 동일할 뿐 물리적 구조에는 차이가 있다. 가령, 대형원전은 수백개의 부품들이 복잡적으로 연계되어 있지만 3.5세대 SMR은 주요 기기들이 원자로 내부 또는 그 인근에 일체형으로 통합된 소형 모듈 형태이다. 이와 같은 구조적 차이는 SMR 운영의 가장 중요한 요인인 안전성을 극대화하기 위한 설계 목적에 기인한다.

(1) PWR 기반의 3.5세대 SMR (NuScale, Holtec 등)

경수로 기반의 SMR은 대형원전과 동일하게 물을 냉각재와 감속재로 사용한다. 기술적인 연속성이 높아 원전 운영자와 규제기관들의 이해도가 높을 뿐만 아니라 기존의 공급망 활용이 용이하다는 장점이 있다. 3.5세대 SMR 역시 PWR, BWR 두 가지 형태로 구분되는데, 일체형의 물리적 차이가 있긴 하나 가동되는 원리는 3세대와 거의 동일하다.

현재 PWR 기반으로 SMR 노형을 개발하고 있는 업체는 미국 NuScale, Holtec, 한국 한수원 i-SMR 등이 대표적이다. 이들 중에서도 NuScale 기술개발 수준과 상용화 시기가 가장 앞서 있는 것으로 파악된다. NuScale은 2023년 1월 미국 내 SMR 업체들 중 처음으로 50MW 용량의 US600 모델 NRC 설계인증을 받았고, 2025년 5월에는 77MW 용량의 US460(VOYGR-6) 모델에도 표준설계인증을 획득했다. NuScale은 NRC 설계인증 받은 US600 모델로 2023년 Idaho 지역에 UAMPS와 합작으로 462MW 발전소 건설을 추진했으나, 공사비 급증으로 인한 경제성 악화와 전력구매 미약정 등으로 철회했던 바 있다. 현재는 루마니아에서 동일한 규모 SMR 발전소 건설을 추진하고 있고, 미국에서는 독점적 파트너사인 ENTRAI가 미국 테네시 전력청 TVA와 총 6GW 발전소 구축 계약을 체결했다.

(2) BWR 기반의 3.5세대 SMR (GE Vernova Hitachi 등)

원자로 내부에서 직접 발생하는 증기로 터빈을 가동하는 BWR 방식을 활용하는 3.5세대 SMR 기술도 현재 개발 중이다. 가장 대표적으로 GE Vernova Hitachi의 BWRX-300 모델인데, 이는 2025년 4월 캐나다에서 건설허가를 취득했고 이미 건설이 시작되었다. 미국에서는 NRC 건설허가를 신청해 현재 심사가 진행 중에 있는데, 동사는 2029년 말 캐나다의 첫 번째 원자로를 완공하고 2030년 말까지 상업운전을 개시하는 것을 목표로 하고 있다.

물이 아닌 다른 종류의 냉각재를 사용하는 4세대 SMR 기술

경수로 기반 3.5세대 SMR 기술을 대형원전의 축소 또는 모듈화로 볼 수 있다면, 비경수로 형태의 4세대 SMR 기술은 원자로 구조 자체가 바뀐 형태로 바라볼 수 있다. 앞서 언급한 NuScale, Holtec, GE Hitachi 등이 개발하고 있는 SMR 운영 방식은 지난 60~70년간 사용한 대형원전 기술의 연장선에 있고, 이번 파트에서 다루는 TerraPower, X-energy, Kairos, Oklo 등은 냉각재와 운전 온도, 출력제어 방식 등이 기존과는 완전히 다른 차세대 방식의 원자로에 더 가깝다.

3.5세대와 4세대 SMR 구동방식에서 가장 특징적인 차이는 냉각재로 사용하는 물질이 물이나 혹은 그 외에 소듐과 헬륨, 용융염 등 다른 종류의 물질이냐에 달려 있다. 4세대 기술에서 물 외의 냉각재를 사용하고자 하는 이유는 냉각재로서 물이 가지는 중성자 속도 저하와 낮은 비등점의 한계점을 개선시키기 위함이다.

중성자 감속 능력이 없는 냉각재 활용으로 고속중성자 핵분열 반응 유지

PWR, BWR 기반의 대형원전은 U-235 핵분열로 전력을 생산하는데, U-235는 느린 중성자와 만났을 때 핵분열이 더욱 활발하게 일어난다. 일반적인 물(경수)은 중성자 속도를 느리게 만드는 성질을 갖고 있기 때문에 물을 냉각재로 사용하면 핵분열에서 튀어나오는 빠른 중성자의 속도를 늦출 수 있다. 이는 경수로 기반의 대형원전에서 물을 냉각재와 감속재로 사용하는 이유이다.

반면, 4세대로 개발되고 있는 SMR 기술 중 대부분은 고속 원자로를 사용하는데, 중성자 속도를 의도적으로 늦추지 않고 고속중성자로 핵분열 반응을 일으키려는 의도이다. 경수로 기반 대형원전에서 핵연료로 사용하는 U-235는 천연우라늄 중 그 비중에 0.7% 내외에 불과하고, U-238 우라늄이 99.3%로 대부분을 차지한다. 향후 우라늄 자원 이용률을 높이는 것도 차세대 원전 기술 개발의 주요 배경으로 작용하고 있는데, U-238 우라늄은 고속중성자 환경에서 핵분열이 더 잘 이뤄지는 특성을 가진다. 따라서 물 대신에 소듐과 헬륨, 납, 용융염 등 중성자 감속 능력이 거의 없는 물질을 냉각재로 사용해 고속중성자 핵분열 반응을 유지하는 것이다.

끓는점이 높은 냉각재 활용으로 저압 or 상압운전 가능

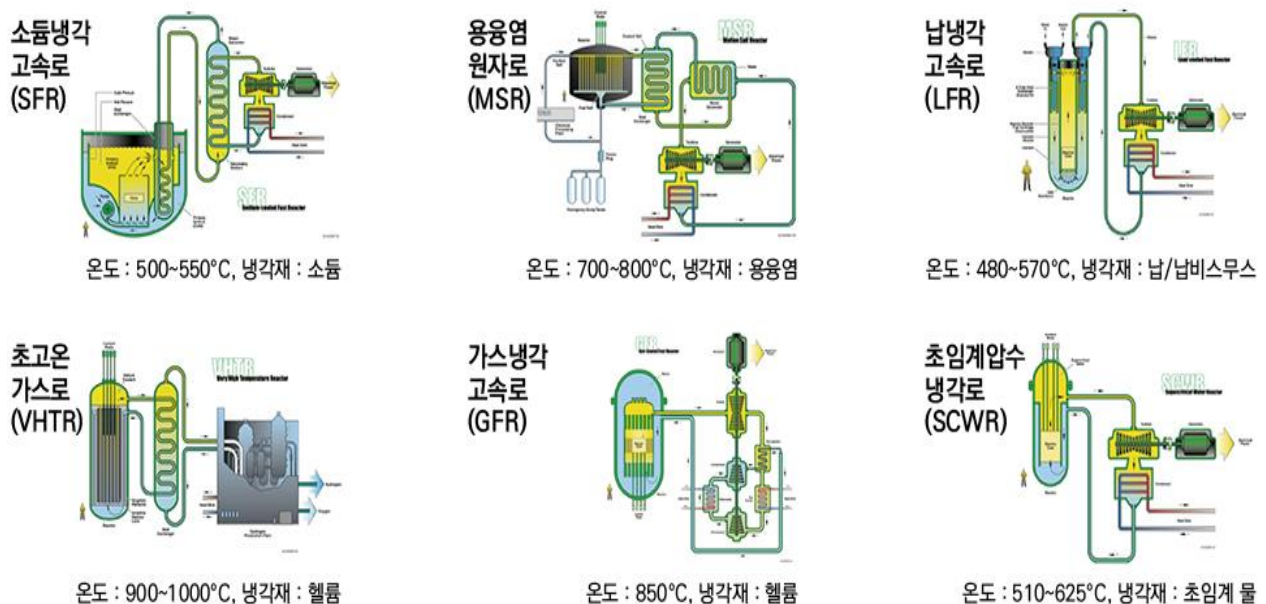
또한 경수로에서 사용하는 물은 약 100°C에서 끓는데, 원자로가 구동되는 300°C 이상의 고온을 유지하기 위해서는 고압환경이 필수적으로 조성되어야 한다. 반면, 4세대 원전에서 물 대신 냉각재로 주로 사용하는 소듐은 끓는점이 880°C, 납은 1,700°C 내외에 달해 저압 또는 상압에서도 고온 상태를 유지할 수 있다. 이는 별도의 고압설비가 필요하지 않다는 의미로, 원전 설계와 운영을 단순화해 운영 리스크 및 투자비를 절감할 수 있다는 점에서 특히 긍정적이다.

표22. SMR 세대 및 원자로 유형

세대	구분	냉각재	유형별 대표사례 및 현재 진행상황
3.5세대	가압경수로(PWR: Pressurized Water Reactor) - 고압의 물 사용. 원자로 노심에서 열 전달해 증기 생성 후 터빈 구동 (증기발생기에서 간접 증기 생산) - 높은 열 출력으로 지역 난방을 제공	경수	- 미국 NuScalePower ('25년 5월 설계 승인) 외 다수 - 한국 KAERI SMART (설계 인증) - 한국 iSMR (개념설계)
	비등수형경수로(BWR: Boiling Water Reactor) - PWR처럼 물을 냉각재와 감속재로 사용하나, 물에 압력을 가하지 않음 - 원자로 내 끓은 증기 활용. 열효율 높고 안정적 (직접 증기 생산) - 비상사태 시 증기압 배출 (방사능 누출 가능성 상존)		- 미국-일본 GE Vernova Hitachi (JV) (캐나다: '25년 건설허가 획득 및 '29년 완공 예정) (미국: NRC 건설허가 신청 후 현재 심사 진행 중)
4세대	소듐냉각고속로(SFR: Sodium-cooled Fast Reactor) - 액체나트륨을 냉각재로 사용. 감속재 불필요 - 빠른 냉각이 가능하나, 누출시 높은 반응성 해결 필요	소듐 액체	- 미국 Terrapower (NRC 건설허가 및 29년 완공 예정) 미국 Oklo, 한국 KAERI PGSFR 외 10건 이상
	납냉각고속로(LFR: Lead-cooled Fast Reactor) - 액체납 이용하여 고속중성자 핵분열 반응으로 열 발생시키는 고속로의 일종. 감속재 불필요	납 액체	- 러시아 BREST-OD-300 외 12건 이상
	용융염로(MSR: Molten Salt Reactor) - 용융염 액체 혼합물을 연료/냉각수로 사용 - 외부 누출시 바로 굳어 중대사고 완전 차단 가능, 사용후핵연료 배출 미미	용융염	- 미국 ThorCon (상세설계), 덴마크 Seaborg (개념설계), 캐나다 Terrestrial Energy IMSR-400 (설계 중) 등
	고온가스로(HTGR: High Temperature Gas-cooled Reactor) - 750도의 헬륨으로 가열된 물이 565도의 증기로 증기터빈을 가동 - 경수로형 대비 고온 운전이 가능해 전력 생산 효율이 비교적 높고 경제적	헬륨 기체	- 미국 X-energy - 미국-캐나다 USNC

자료: 녹색산업지원센터, iM증권 리서치본부

그림41. 4세대 SMR 기술의 6개 노형 개념도



자료: 한국산업기술진흥협회, iM증권 리서치본부

(1) 소듐냉각고속로(SFR, Sodium-cooled Fast Reactor)

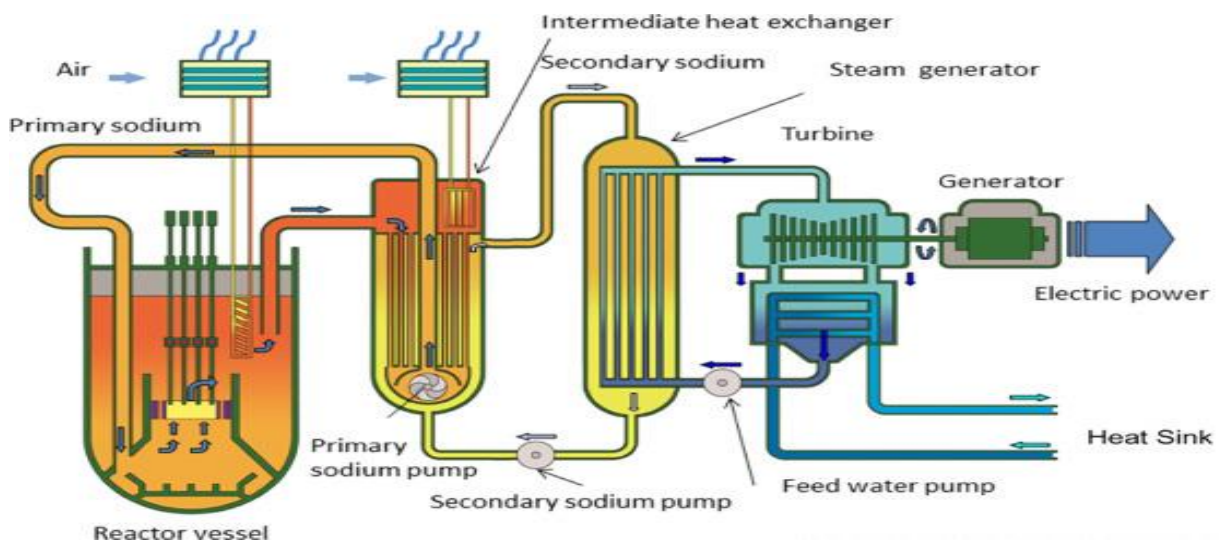
TerraPower: 2029년 완공 및 2031년 상업가동 목표

소듐냉각고속로는 물 대신에 액체 나트륨을 냉각재로 사용하는 원자로 유형이다. 소듐은 끓는점이 880°C로 절대적인 수준이 높아 낮은 압력에서도 고온의 환경을 유지할 수 있어 효율적인 운전이 가능하다. 또한 소듐은 자체 열전달 성능이 높아 1960년대부터 꽤 오랫동안 고속원자로의 냉각재로 연구 개발되어 왔다.

러시아는 현재 소듐냉각고속로 BN-600, BN-800 모델 2기를 실제 가동 중이고, 전 세계에서 운영 경험이 가장 오래된 국가이기도 하다. 미국에서 TerraPower가 2026년 3월 NRC 건설승인을 받아 현재 345MW 용량의 Kemmerer #1 발전소 실증 프로젝트를 진행 중이며, 2029년에 완공 및 2031년 상업가동을 목표로 하고 있다. 큰 이슈없이 해당 타임라인으로 진행된다면, 미국 SMR 기술 중에서 가장 빠르게 상업가동을 시작하는 SMR 프로젝트가 될 것으로 예상된다.

다만, 소듐은 물이나 공기와 접촉했을 때 반응성이 매우 높다는 점이 운영의 최대 리스크 요인으로 작용한다. 대표적으로 1995년 일본 Monju 원자로의 2차 계통에서 소듐이 누설되었고 공기와 접촉하면서 화재사고가 발생한 사례가 있다. 방사능 누출은 없었고 이후 재가동을 시도했으나, 추가적인 장비 문제와 정부의 규제 강화 등으로 결국 2016년 원자로를 폐쇄되었다. TerraPower 원자로는 SFR 설계를 기반으로 하면서도, 용융염 열저장 시스템을 추가해 원자로와 발전계통을 분리함으로써 물과 소듐 접촉을 통한 화재 위험성은 일부 낮춘 것으로 파악된다.

그림42. 소듐냉각고속로(SFR) 구동 방식: 물 대신 액체 나트륨을 냉각재로 활용



자료: Handbook of Generation IV Nuclear Reactors, iM증권 리서치본부

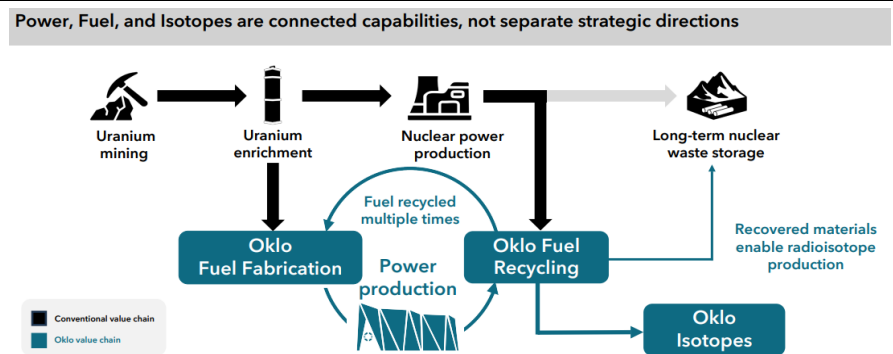
Oklo: 원자로 설계를 넘어 전력판매와 연료까지 원전 수직계열화 추진

Oklo 또한 소듐냉각고속로 SMR 상업화를 시도하고 있는 업체이다. 구동은 앞서 언급한 TerraPower 구조와 동일하나, 주력 원자로 모델 용량이 75MW로 좀 더 작고 용융염 같은 별도 저장설비가 없다는 점에서 양사 구동방식의 차이가 있다.

한편, 현재 SMR 기술을 개발 중인 대부분의 업체들은 원자로를 설계해 판매하는 것을 주요 사업모델로 추진하고 있으나 Oklo는 연료제조와 사용후핵연료 재활용, 전력판매까지 보다 수직계열화된 사업을 추진하고 있다는 점에서 차별화된다.

Oklo는 2020년 Aurora 원자로에 대한 COL 허가를 신청했으나, 2022년 NRC의 반대로 아직까지는 설계인증과 건설허가를 받지 못했다. 2025년 미국 에너지부의 Reactor Pilot Program 참가를 확정해 현재는 Aurora-INL 프로젝트 실증 작업을 진행하고 있다. 최종 안정성 분석인 DSA 승인까지 완료되면 2027~2028년 중에 실증 가동하고, 향후 이를 바탕으로 NRC 상업허가를 재신청한다는 계획이다. 특히 최근 추진 중인 마이크로리액터 인허가 특화 체계 Part 57 방식이 도입되면 에너지부가 검토한 Oklo 실증 데이터가 NRC 심사에도 활용되며 인허가 절차와 기간은 크게 줄어 들 수 있다. 금번 에너지부 실증 프로젝트로 NRC 상업허가도 이뤄지면 Meta와의 1.2GW 발전소 구축 계획도 본격 추진될 수 있을 전망이다.

그림43. Oklo 사업 밸류체인: 원자로 설계 + 연료 생산 + 사용후핵연료재활용 + 동위원소 생산



자료: Oklo, iM증권 리서치본부

그림44. DOE의 Reactor Pilot Program에서 추진 중인 Aurora-INL 프로젝트 및 현재 진행상황



자료: Oklo, iM증권 리서치본부

(2) 고온가스로(HTGR, High-Temperature Gas-cooled Reactor)

X-energy: 2026년 말 NRC 건설승인 받은 후 Dow 실증 프로젝트 진행 예정

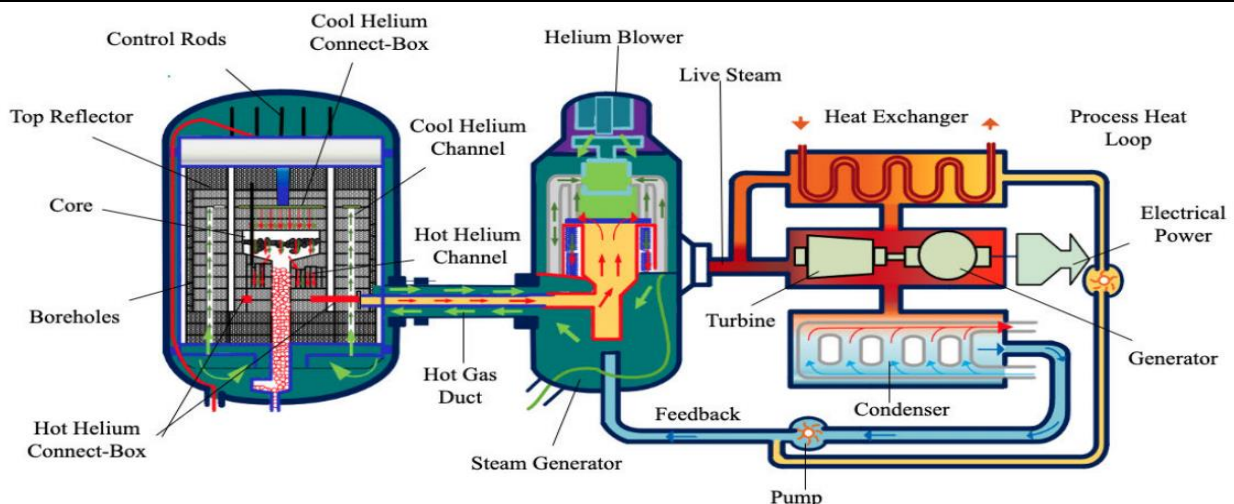
고온가스로는 헬륨을 냉각재로 사용하는 원자로 유형이다. 원자로에서 약 750℃ 이상의 고온으로 가열된 헬륨이 열을 흡수해 증기발생기로 전달하고 이 과정에서 생성된 증기가 터빈을 돌리는 방식이다. 비활성 기체 헬륨은 고온의 환경에서도 안정적인 상태를 유지하면서 물이나 공기와의 반응도 잘 반응하지 않는다. 따라서 화재 및 폭발 위험이 낮아 운영의 안정성이 높다는 장점이 있다.

반면, 헬륨은 기체 상태의 냉각재이기 때문에 액체 금속이나 물 대비 열전달력은 낮은 편이다. 이 같은 특징으로 인해 동일한 열을 흡수하기 위해서는 냉각재 순환 펌프 구동에 더 많은 에너지가 필요하며, 액체 상태의 냉각재를 활용하는 원자로 대비 설계가 다소 복잡하고 대형화될 가능성이 있다는 점은 단점으로 볼 수 있다.

HTGR 기반의 SMR 기술을 개발하고 있는 가장 대표적인 업체는 X-Energy로 주력 모델인 Xe-100 기준 발전용량은 80MW이다. X-Energy는 TerraPower와 함께 미국 에너지부 ARDP 프로그램 하에서 상업화 직전 실증 프로젝트에 대한 ARD 지원을 받은 유일한 업체이다.

X-Energy는 실증 프로젝트로 텍사스 Dow 석유화학단지에 고온가스로 원자로 4기 건설을 추진한다는 계획이다. 아직까지 NRC의 건설 승인은 받지 못했으나, 빠르면 2026년 말에 심사가 완료되며 건설허가가 이뤄질 것으로 예상된다. 허가 이후에 X-Energy는 Dow 실증 프로젝트로 상업화한 후 Amazon 투자를 받은 워싱턴 Energy Northwest 프로젝트에 Xe-100 모듈 4기를 설치한다는 계획이다. 고온가스로 기반의 Xe-100 원자로에 있어 단기적으로는 NRC 건설허가가 가장 중요하고, 이후 Dow 실증 프로젝트가 상업화의 핵심 분기점이 될 전망이다.

그림45. 고온가스로(HTGR) 구동 방식: 물 대신 헬륨 가스를 냉각재로 활용



자료: IEEE (Small Modular Reactors: An Overview of Modeling, Control, Simulation, and Applications 논문 참고), iM증권 리서치본부

(3) 용융염로(MSR, Molten Salt Reactor)

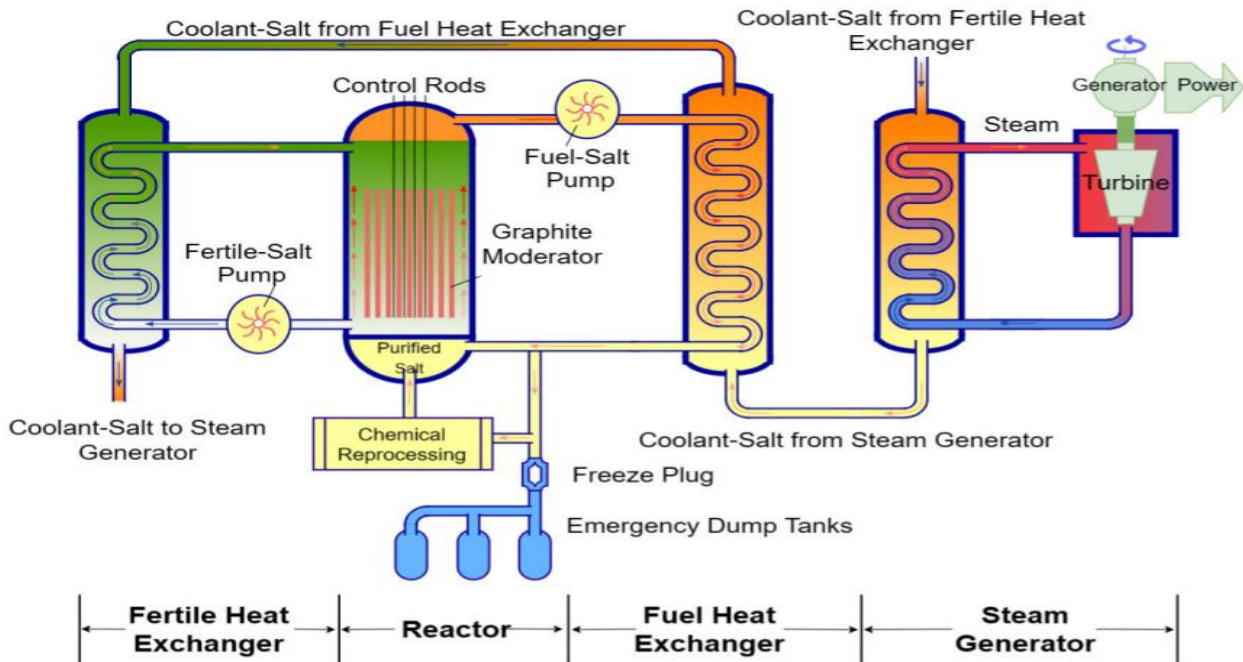
Kairos Power: 상업용이 아닌 기술검증 목적으로 NRC 건설허가 승인

용융염로는 용융된 불화물 또는 염화물을 냉각재로 사용하는 원자로 형태이다. 전통적 방식의 용융염로는 핵연료를 용융염에 직접 녹여 연료와 냉각재가 하나의 유체로 순환하는 액체연료형 구조를 활용하지만, 액체연료 부식과 연료처리 등의 문제로 최근에는 용융염 냉각재와 고체연료를 결합하는 형태도 채택하고 있다.

용융염로는 600~700℃ 이상에서 고온 운전이 가능해 발전효율을 높일 수 있고, 산업용 열원과 수소생산 등에도 활용될 수 있다는 장점이 있다. 그러나 용융염로 방식의 가장 특징은 수동 안정성이 우수하다는 점이다. 액체연료형 MSR에서는 온도 상승 시 용융염 연료가 팽창하면서 핵분열성 물질의 밀도가 낮아지고, 이에 핵분열 반응도 자연스럽게 감소한다. 또한 일부 액체연료형의 용융염로는 원자로 하부에 동결플러그를 설치해 비상사고 발생 시 별도 작동없이 연료가 배수탱크로 자동 배출되도록 설계된다. 이때 배출된 연료는 넓은 공간에 분산되면서 핵분열 반응이 중단되고 자연냉각도 이뤄진다. 이 같은 특성으로 용융염로는 멜트다운의 리스크가 상대적으로 낮고, 고압설비가 필요하지 않아 중대사고 위험을 줄일 수 있다. 다만, 고온의 용융염이 배관과 구조재를 계속 부식시키는 만큼 액체연료형 용융염로 기술 상용화를 위해서는 내식성의 소재 개발이 이뤄져야 한다.

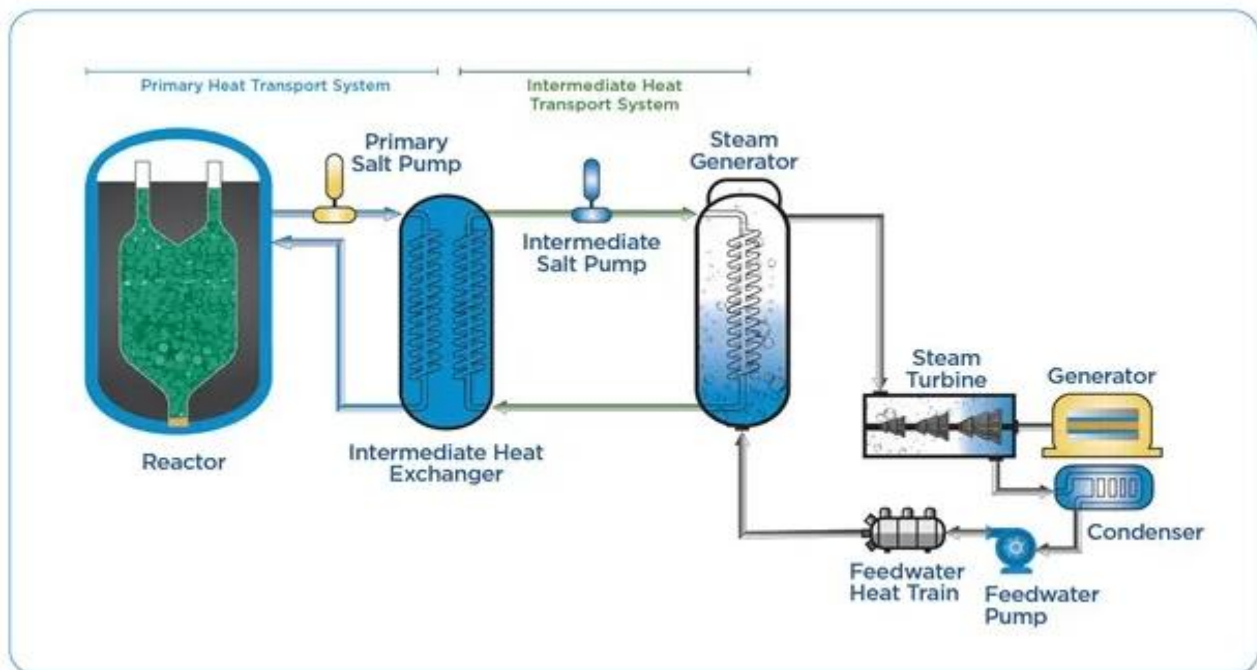
Kairos Power는 용융염로 방식 소형 원자로를 개발하고 있는 대표적인 업체이다. 다만, 전통적인 액체연료형 MSR 방식이 아니라 앞서 언급한 용융염 냉각재에 고체연료인 TRISO를 사용하는 FHR(Fluoride-salt High-temperature Reactor) 방식으로 모델이 개발되고 있다. 지난 2023년 12월 NRC 건설승인을 받고 현재 테네시에서 Hermes #1 실증로 건설 중이며 2024년 11월에는 Hermes #2 실증로 건설승인도 추가 취득했다. 그러나 이는 상업용 전력생산이 아니라 데이터 수집 및 기술 검증을 위해 이뤄진 것으로 TerraPower 건설승인과는 다른 개념이다. Hermes 실증로는 2029년 완공을 계획하고 있는데, 이후 시험가동으로 기술검증 거친 후 Google과 함께 2030년대 중반 상업가동을 목표하고 있다.

그림46. 전통적인 액체연료형 용융염로(Liquid-fuel MSR) 방식: 우라늄을 용융염에 녹여 액체연료이자 냉각재로 활용되는 일체화된 형태



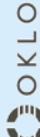
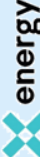
자료: IEEE, iM증권 리서치본부

그림47. Kairos Power 고체연료형 용융염로(FHR) 방식: 용융염은 냉각재 역할만 하고, 연료는 고체TRISO 활용(원자로 안의 초록색 알갱이)



자료: Kairos Power, iM증권 리서치본부

표 23. 주요 SMR 업체별 원자로 기술 및 현재 진행 상황

세대 구분		3.5세대 SMR		4세대 SMR		
업체명	NuScale Power 	GEV/Hitachi  	TerraPower 	Oklo 	X-energy 	Kairos Power 
원자로 기술	가압경수로 (PWR)	비등수형경수로 (BWR)	소듐냉각고속로 (SFR)	소듐냉각고속로 (SFR)	고온가스로 (HTGR)	용융염로 (MSR)
모델명	NPM	BWRX-300	Natrium	Aurora	Xe-100	KP-FHR
냉각재	물	물	액체 소듐	액체 소듐	헬륨	용융 불화염
기술 특징	- 경수로 기반, 노형으로 기존 대형원전 공급망 및 기술 레퍼런스 활용 가능 - 물 냉각재 필수 구성	- 원자로 안전성 확보 - 용융염 연료로 출력 조절 가능 - 향후 Part 57 인허가 절차 가능	- 원자로 안전성 확보 - 용융염 연료로 출력 조절 가능 - 향후 Part 57 인허가 절차 가능	- 원자로 안전성 확보 - 용융염 연료로 출력 조절 가능 - 향후 Part 57 인허가 절차 가능	- 원자로 안전성 확보 - 용융염 연료로 출력 조절 가능 - 향후 Part 57 인허가 절차 가능	- 원자로 안전성 확보 - 용융염 연료로 출력 조절 가능 - 향후 Part 57 인허가 절차 가능
인허가 단계	- '23년 55MW NRC 설계인증 획득 - '25년 5월 77MW NRC 표준설계 승인 획득	- '23년 55MW NRC 설계인증 획득 - '25년 5월 77MW NRC 표준설계 승인 획득	- '26년 3월 NRC 건설승인 획득 - '26년 6월(현재) 건설 중 - '29년 완공 목표 - '31년 상업가동 예정	- '26년 3월 NRC 건설승인 획득 - '26년 6월(현재) 건설 중 - '29년 완공 목표 - '31년 상업가동 예정	- '26년 3월 NRC 건설승인 획득 - '26년 6월(현재) 건설 중 - '29년 완공 목표 - '31년 상업가동 예정	- '26년 3월 NRC 건설승인 획득 - '26년 6월(현재) 건설 중 - '29년 완공 목표 - '31년 상업가동 예정
미국 주요 파트너십	- '25년 9월 ENTRAI-TVA 간 공급 계약 체결 - 해당 계약에 6GW 규모 공급 예정	- '25년 5월, TVA에 의해 BWRX-300 NRC 건설 허가 신청 - '25년 12월, DOE로 보조금 지원 발표 (\$4억 규모)	- '26년 1월 Meta와 1.2GW 규모 파워하우스 캠퍼스 개발 계획 체결 - '30년 150MW 초기 가동 시작 - '34년까지 단계적 확장 목표	- '26년 1월 Meta와 1.2GW 규모 파워하우스 캠퍼스 개발 계획 체결 - '30년 150MW 초기 가동 시작 - '34년까지 단계적 확장 목표	- '24년 10월 Amazon 투자 유치 (\$5억 규모 시리즈 C-1 투자) - '39년까지 5GW 가동 목표	- '24년 10월, Google의 500MW 전력 구매 계약 발표 - '30년까지 500MW 1기 가동 계획 - '35년까지 750MW 6기 건설 목표

자료: iM증권 리서치본부

V. TerraPower 사이트 방문 후기

TerraPower 개요 및 주요 투자자

2008년 빌게이츠가 설립한 미국 1세대 SMR 개발 업체

TerraPower는 미국에서 소듐냉각고속로(SFR) 기반의 차세대 원전 설계 기술을 개발하고 있는 업체이다. 2008년 빌게이츠가 설립해 운영한지도 이제 약 20년이다 되어가는데, 미국에서는 2007년 설립된 NuScale, 2009년 설립된 X-energy 등과 함께 1세대 SMR 업체로 볼 수 있다.

2020년 10월 미국 에너지부에서 차세대 원전 상용화 속도를 높이기 위해 도입한 ARDP 프로그램 대상으로 선정되어 Natrium 실증프로젝트 개발자금을 지원받기 시작했다. 2024년 와이오밍에서 실증로 착공을 시작했고, 2026년 3월에 처음으로 NRC 상업용 첨단 원자로 건설승인을 받아 현재 건설작업이 진행 중이다.

비상장사인 특성상 현재 TerraPower 투자자 구성을 정확하게 파악할 수는 없다. 다만, 회사의 공식적인 발표와 언론보도 등을 통해 확인되는 부분은 최대주주인 빌게이츠 외에 주요 투자자들로 SK(주), SK이노베이션, 한국수력원자력, HD현대, NVIDIA 등이 지분을 일부 보유하고 있다는 것이다. 그 중에서도 이번에 투어를 주관한 SK(주)-SK이노베이션은 2022년 8월 총 2.5억달러를 투자한 바 있다. 당시 정확한 지분율이 공개되진 않았으나, 2대 주주로 공식 발표되었던 점을 감안하면 SK그룹이 TerraPower의 주요 전략적 투자자 중 하나라는 점은 분명하다.

표24. TerraPower 기업 개요 및 주요 연혁

주요 사업	차세대 원전 기술 설계, 방사선 암치료제 원료 Ac-225 생산 (현재 임직원 약 600명)
CEO 및 주요 이사회 구성	Chris Levesque(CEO) 빌 게이츠(의장), 크리스틴 스비니키(NRC 최장수 위원), UAE 국영원전기업 CEO, 존 피테사(Duke Energy CNO), 김무환(SK이노베이션 에너지솔루션 사업단장)
2008년	차세대 원전 기술 설계 기업 TerraPower 설립 (미국 워싱턴주 Bellevue)
2020년	미국 에너지부 ARDP(첨단 원자로 실증 프로그램) 지원 대상 선정
2021년	미국 와이오밍주 SMR 실증로 구축 착수
2022년 8월	SK(주)-SK이노베이션, TerraPower에 \$2.5억 지분 투자하여 2대 주주 등극 (SK \$1억, SK이노베이션 \$1.5억 투자)
2023년 4월	SK-한국수력원자력-TerraPower, 'SMR 개발/사업화' 협력 계약 체결
2024년 6월	TerraPower, 미국 와이오밍주에 세계 최초 SMR 실증단지 착공
2026년 1월	SK이노베이션, 한국수력원자력에 TerraPower 지분 일부 양도
2026년 3월	NRC, TerraPower 상업용 원자로 건설승인 (첨단원자로 건설승인은 미국 내 최초, 상업용 원전 건설 허가는 10년 만)
2026년 6월 (현재)	TerraPower, SMR 실증 플랜트 Natrium 프로젝트 건설 시작 (2029년 완공, 2031년 상업가동 목표)

자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

그림48. TerraPower 주요 투자자들 (현재까지 공식적으로 발표된 투자자만 포함)



자료: iM증권 리서치본부

그림49. Natrium 프로젝트에 대해 설명 중인 Chris Levesque CEO



자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

그림50. Natrium 원자로 구동 방식과 기술 특성에 대해서 설명 중인 프로젝트 총괄 부사장 Patrick Young



자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

그림51. Natrium 원자로 배치 구조와 현재 건설 진행상황에 대해서 설명 중인 건설 총괄 디렉터 Andy Chruciel



자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

Natrium 원자로 구동방식 및 향후 타임라인

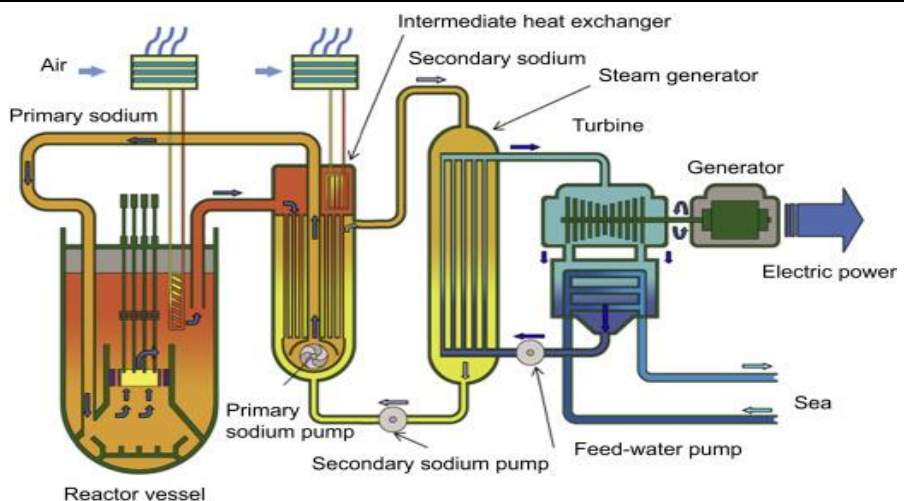
물 대신 액체 나트륨을 냉각재로 사용하는 원자로 형태

TerraPower가 상용화하고 있는 소듐냉각고속로(SFR) 기반 Natrium 프로젝트는 물 대신에 액체 나트륨을 냉각재로 사용하는 원자로 형태이다. 소듐은 끓는점이 880°C로 절대적인 수준이 높아 낮은 압력에서도 고온의 환경을 유지할 수 있어 효율적인 운전이 가능하다. 또한 소듐은 자체 열전달 성능이 높아 1960년대부터 꽤 오랫동안 고속원자로의 냉각재로 연구 개발되어 왔다.

TerraPower 원자로의 가장 큰 특징은 소듐냉각고속로에 용융염 기반의 열에너지 저장시스템(TES, Thermal Energy Storage)을 결합했다는 점이다. 이는 원자로에서 생산된 열을 분리된 별도 용융염 저장탱크에 저장했다가 필요할 때 발전계통으로 공급하는 구조로, 전력 수요가 낮을 때는 열을 저장하고 수요가 급증할 때는 저장된 열까지 활용해서 더 많은 전력을 생산할 수 있도록 설계되었다. TES에서 사용하는 용융염은 고체 상태의 소금을 녹여 액체 상태로 유지한 열저장 매체로, 열용량과 열안정성이 높아 대규모 열에너지의 효율적인 저장이 가능하다.

다만, 소듐은 물이나 공기와 접촉했을 때 반응성이 매우 높다는 점이 운영하는데 있어 안전성 리스크로 남아 있다. 대표적으로 1995년 일본 Monju 원자로의 2차 계통에서 소듐이 누설되었고 공기와 접촉하면서 화재사고가 발생한 사례가 있다. 방사능 누출은 없었고 이후 재가동을 시도했으나, 추가적인 장비 문제와 정부의 규제 강화 등으로 결국 2016년 원자로 폐쇄되었다. TerraPower 원자로는 SFR 설계를 기반으로 하면서도, 용융염 열저장 시스템을 추가해 원자로와 발전계통을 분리함으로써 물과 소듐 접촉을 통한 화재 위험성은 일부 낮춘 것으로 파악된다.

그림52. 4세대 SMR 중 소듐냉각고속로 원자로 구동 방식



자료: Handbook of Generation IV Nuclear Reactors, iM증권 리서치본부

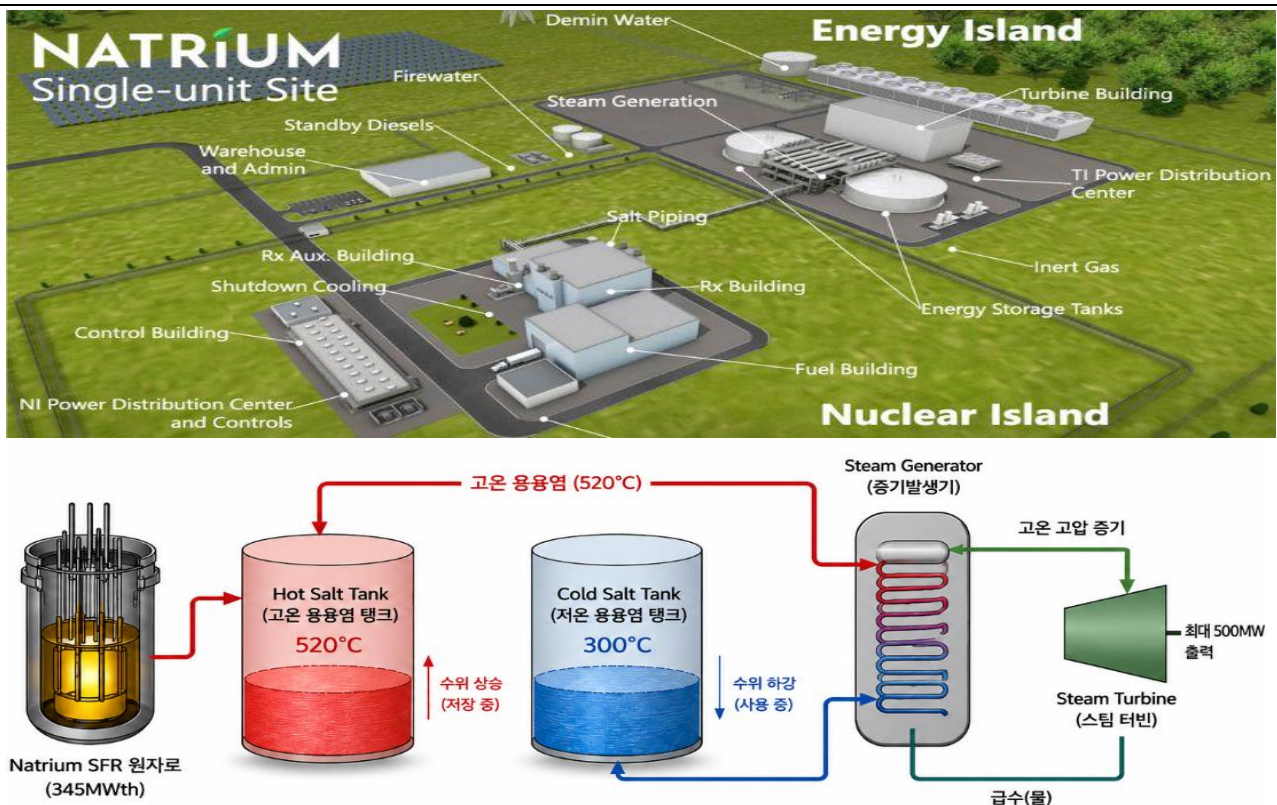
SFR 원자로에 TES 결합에 따른 유연한 출력대응이 가장 차별화된 부분

소듐냉각고속로에 용융염 기반 열에너지 저장시스템을 결합한 구조는 Natrium 프로젝트 구성에서 분명하게 확인된다. TerraPower는 원자로와 핵연료가 위치한 Nuclear Island, 증기발생기와 용융염 저장탱크, 터빈 등의 발전 설비가 위치한 Energy Island를 물리적으로 분리하고 있다.

Nuclear Island에서는 소듐냉각고속로가 지속적으로 열을 생산하고, 생산된 열은 소듐과 열교환기를 거쳐 Energy Island 용융염 저장시스템으로 전달된다. 여기에 저장된 고온의 열은 필요할 때 증기발생기와 터빈으로 보내 전력 생산에 활용할 수 있는 것이다. 이처럼 원자로와 발전설비를 분리함으로써 원자로는 안정적으로 기저출력을 운전할 수 있는 동시에, 발전계통은 저장된 열을 활용해 수요 변화에 따라서 유연하게 출력 대응을 할 수 있다는 점에서 Natrium 모델이 차별화된다.

용융염 저장시스템 활용으로 전력 수요 변화에 맞춰 출력 조절이 이뤄지는 것은 전력망 내에서 부하추종 운전이 가능하고, 재생에너지의 간헐성을 보완하는 역할 또한 수행할 수 있음을 의미한다. 실제로 TerraPower 원자로 1기의 정격 출력은 345MW이지만, 용융염에 저장된 열에너지를 통해 발전출력은 최대 500MW까지 확대 가능한 것으로 파악된다. 안정적인 기저전원 역할에 계통유연성까지 확보할 수 있다는 점은 Natrium 원자로의 차별화된 경쟁력 중 하나로 평가된다.

그림53. 원자로(nuclear island)+용융염 열저장시스템(energy island) 분리 배치된 구조(상), 용융염 열저장을 활용한 부하추종 방식(하)



자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

현재 타임라인에 따르면 미국 내에서 가장 먼저 상업가동을 시작할 SMR

TerraPower는 2026년 3월에 NRC 건설승인을 받고 현재 미국 와이오밍주에서 345MW 용량의 Kemmerer #1 실증 발전소를 건설하고 있다. 이번 프로젝트는 2012년 Vogtle #3, 4호기 이후 대략 14년 만에 이뤄진 상업용 원전 건설허가이고, 미국 SMR 기술 중에는 최초로 받은 건설승인이라는 점에서 더욱 주목할 만하다.

공사는 약 3년간 진행될 것으로 예상되는데 현재 타임라인으로는 2029년에 완공 및 테스트 가동 거치면서 기술을 검증하고, 2031년 초부터 본격적인 상업가동을 시작하는 것이다. 큰 이슈없이 해당 타임라인으로 진행된다면, 미국 SMR 기술 중에서는 가장 먼저 상업가동을 시작하는 프로젝트가 될 것으로 예상된다. 다만, 아직까지는 건설승인만 받았고 운영에 대한 허가는 따로 받아야 하는 상황이다. 이에 TerraPower는 2027년 하반기에 NRC의 상업가동 신청을 하고 완공 전까지 최종허가를 받아서 현재 계획한 일정대로 진행하겠다는 입장이다.

2031년부터 상업가동되면 Natrium 원자로에서 생산되는 전력은 인근 유틸리티 업체인 PacifiCorp 전력망으로 공급될 예정이다. PacifiCorp는 현재 Natrium 프로젝트가 건설되고 있는 Kemmerer 부지 인근에서 1960년대부터 Naughton 석탄 발전소 3기를 운영해왔다. 그러나 탄소감축에 대한 압박과 경제성 악화로 하나는 천연가스 발전소로 전환했고, 나머지 2개는 단계적 폐쇄를 계획하고 있다. 이에 기존의 송전 인프라를 그대로 활용해 발전소 상업가동 시작과 함께 전력을 공급하는데 큰 무리가 없을 것으로 예상된다.

2~3기 모듈 조립으로도 대형원전 유사한 발전용량 확보 가능, 그리고 그 시사점

현재까지 TerraPower는 12기의 SFR 원자로 공급 계약을 체결했는데, 그 중에서 8기는 Meta로 공급되는 물량이다. Meta는 2030년대 초반부터는 원전 발전 용량 확보를 목표하고 있는 만큼 첫 번째 실증 프로젝트 상업가동이 이뤄짐과 동시에 Meta 물량 대응도 본격화될 가능성이 높다. 이를 감안하면 2030~2031년 전후로 Meta AI 데이터센터용 SFR 원자로 건설이 이뤄질 수 있을 것으로 예상된다.

TerraPower 모듈 1기 적격용량은 345MW이지만, 두번째 프로젝트부터는 2기의 모듈을 조립해 기본 용량을 690MW 규모로 공급하는 것을 계획하고 있다. 이는 최근 GW 단위로 확대되고 있는 AI 데이터센터 전력 수요와 전혀 무관하지 않아 보인다. 2~3기의 모듈 조립만으로도 대형원전과 유사한 발전 용량을 확보할 수 있다는 점은 향후 TerraPower 원자로가 유틸리티 업체들의 발전원으로는 물론, 하이퍼스케일러 BTM 기저발전원으로도 활용 가능성이 높다는 점을 시사한다.

그림54. 미국 와이오밍주 Kemmerer 지역에 건설 중인 Natrium 프로젝트 (1)



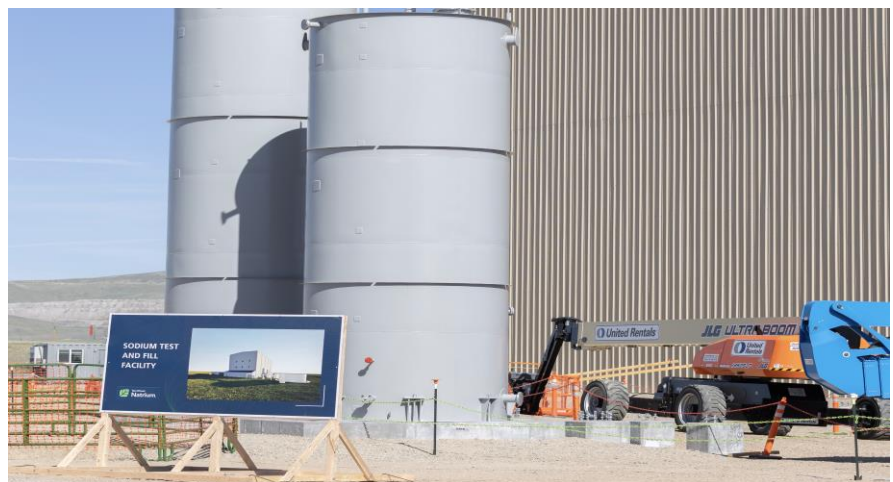
자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

그림55. 미국 와이오밍주 Kemmerer 지역에 건설 중인 Natrium 프로젝트 (2)



자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

그림56. 미국 와이오밍주 Kemmerer 지역에 건설 중인 Natrium 프로젝트 (3)



자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

SMR 사이트 방문에서 찾은 SK이노베이션의 시사점

원유에서 LNG, SMR까지 석탄을 제외한 모든 에너지로 수평 확장

지금까지 SK이노베이션의 사업은 전통에너지, 그 안에서도 정유, 화학, 윤활유 등 다운스트림 중심이었다. 그러나 최근에는 천연가스(LNG), 소형원전(SMR) 등과 같은 차세대 에너지원으로 포트폴리오를 넓혀 가는 모습이다. 이는 전통에너지를 단기적 캐쉬카우로 활용하는 한편, 중장기적으로는 탄소중립 기조 강화와 글로벌 AI 데이터센터 확산에 따른 전력수요 증가에 대응할 수 있는 차세대 에너지들 중심으로 포트폴리오의 무게중심을 이동시키겠다는 전략으로 해석된다.

LNG 부문에서는 호주 Caldita-Barossa, 미국 Woodford 가스전부터 시작해서 호주 Darwin, 미국 Freeport LNG 액화터미널 등의 미드스트림 사업, SK E&S가 운영하고 있는 LNG 발전소 등 전 밸류체인에 걸쳐 포트폴리오를 보유하고 있다. 최근에는 베트남의 수입터미널과 발전소 프로젝트에도 참여를 확정하며 석탄에서 천연가스로 에너지 전환이 필요한 동남아시아로 지역적 확장도 이뤄지고 있다.

SMR은 그룹 차원에서 지주사와 함께 TerraPower에 전략적 투자자로 참여했다. 동사는 Natrium 상업화 프로젝트에서 O&M 파트너사로 참여해 운영 경험을 확보한 뒤에, 중장기적으로는 국내와 동남아시아 시장에서 SMR 프로젝트 개발 및 운영하는 사업자로서의 역할을 맡겠다는 계획이다.

전통에너지에서도 기존의 다운스트림 중심에서 업스트림으로 수직 확대

전통에너지에서도 업스트림 투자 확대가 눈에 띈다. 현재 석유 생산 중인 페루와 베트남, 중국 광구 외에도 베트남 일부 광구와 말레이시아에서 추가 탐사가 진행 중이다. 자원개발은 리스크가 큰 사업임에도 동사가 투자를 지속하고 있는 것은 전통에너지 내에서도 에너지 자원 자체를 직접 확보하겠다는 의도로 볼 수 있다.

결론적으로 동사는 원유와 천연가스, 재생에너지, 원전 등 사실상 석탄을 제외한 주요 에너지원들의 포트폴리오를 모두 구축하겠다는 전략이다. 이는 단순히 사업 다각화보다는 에너지 전환 과정에서 특정 에너지원에 대한 의존을 낮추고, 향후 전력시장 변화에 유연하게 대응할 수 있는 포지션 확보의 시작점이 될 수 있다. EV 업황 부진으로 SK-On 대규모 영업적자와 재무구조 악화가 지속되고 있음은 여전히 최대 디스카운트 요인이지만, AI 데이터센터 전력 구축의 핵심인 ESS로 미국 내에서 신규 성장동력을 확보할 수 있다는 점은 그나마 희망적이다.

표25. SK이노베이션 주요 에너지원별 투자 내역 및 현재 진행사항

에너지	주요 프로젝트	지역	현재 진행 세부사항
원유			
	15-1/05 광구	베트남	2026년 생산 예정
	15-1 광구	베트남	2,500b/d 생산 중
	15-2/17, 16-2 광구	베트남	현재 탐사중
	17/03 광구	중국	9,500 B/D 생산
	88 광구	페루	원유 8,300b/d, 가스 25,000b/d 생산 중
	56 광구	페루	원유 2,000b/d + 가스 8,000b/d 생산 중
	NC174 광구	리비아	230b/d 생산 중
LNG	SK427, KETAPU Cluster 광구	말레이시아	현재 탐사중
	사업 구분	Upstream	Midstream
	주요 Portfolio	- 가스전 - Woodford - Barossa-Caldita - Bayu-Undan - LNG 액화플랜트 - Freeport LNG - Darwin LNG	- Trading - LNG 장기구매계약¹⁾ - Equinor - Petronas - Shell - BP (Tangguh) - Trafigura - Shipping - 전용선박 4척 운영 중 - LNG 수입터미널 - 보령, 광양, KOGAS²⁾ - 조우산, 간위
		Downstream	- 발전·집단지 - 산업 수요
	Caldita-Barossa 가스전	호주	총 생산량 130만톤
	Woodford 가스전	미국	총 생산량 110만톤
	Darin LNG 액화터미널	호주	총 액화용량 370만톤
	Freeport LNG 액화터미널	미국	총 액화용량 1,550만톤
SMR	보령 LNG 수입터미널	한국	총저장용량 140만㎥
	LNG 발전소	파주, 여주, 광양, 하남, 위례, 부산	총 발전용량 5.0GW
	LNG 수입터미널 및 발전소	베트남	발전소 1.5GW 용량, 2027년 착공해서 2030년 완공 예정
SMR			
	TerraPower	미국	NRC 건설승인 후 현재 건설 중, 2029년 완공, 2031년 상업가동 예정

자료: SK이노베이션, iM증권 리서치본부



기업분석

SK이노베이션 (096770)

미국 TerraPower 방문 후기: 중장기 SMR 경쟁력에 대한 소고

NuScale Power (SMR-US)

ENTRA1 이슈 일단락, 이젠 프로젝트 착수에 주목

Oklo (OKLO-US)

Part 57 체계 도입 시 NRC 조기승인 수혜 기대

SK이노베이션 (096770)

2026.06.16

미국 TerraPower 방문 후기 : 중장기 SMR 경쟁력에 대한 소고

[에너지/정유/화학] 전유진
2122-9193 yujinjn@imfnsec.com

미국 와이오밍 Natirum 실증 프로젝트 사이트 방문 및 CEO 간담회

당사는 5월 말 TerraPower 2대 주주인 동사 주관으로 TerraPower를 방문했다. CEO 및 실무진들과의 간담회를 통해 SMR 사업에 대한 미국 내 분위기와 정부의 정책적 지원, 현재 프로젝트 상황, 향후 계획 등에 대한 이야기를 나눌 수 있었다.

기존에는 SMR 상업화 시기와 경제성 등에 다소 회의적인 관점으로 보고 있었다. 그러나 이번 미팅을 계기로 정부의 SMR 상용화 의지와 정책적 지원이 생각보다 강하고, 빅테크와의 협력도 이미 상당부분 진행 중임을 확인할 수 있었다. 현재는 경제성 측면에서 분명히 한계가 있지만, 첫 번째 상업가동을 기점으로 반복적인 설계/조립, 학습효과 등이 창출됨에 따라 향후 5~6년 뒤에는 대형원전과 비슷한 수준으로 투자비가 내려갈 수 있겠다는 희망적인 부분도 새롭게 고민하게 되었다.

SMR 상용화 속도 높이기 위한 미국의 정책/재정적 지원 적극적

미국은 SMR 상업화 속도 개선을 위해 ARDP 등의 재정적 지원을 확대하고 있다. TerraPower는 ARDP 대상 2개 업체 중 하나로, 투자비 \$4억 중 최대 \$2억까지 지원을 받고 있다. 정책적으로도 SMR 인허가 간소화를 위해 26년 4월 Part 53 체제를 도입했다. TerraPower는 Meta와 체결한 8기 원자로 공급계약을 2030년 전후로 시작할 계획인데, 해당 프로젝트부터는 Part 53 체제에 따라 인허가 절차 및 기간을 대폭 단축시킴으로써 2~3년 내 완공이 가능할 것으로 예상된다.

향후 5~6년 뒤에는 대형원전과 SMR 경제성 비슷한 수준 도달할지도

경제성 측면에서도 2030년대 초중반에는 대형원전과 투자비가 유사한 수준으로 낮아지는 것을 기대해볼 수 있겠다. 공급망 붕괴와 잇따른 공기 지연으로 대형원전 건설비는 최근 1GW 기준 13~14조원 내외에 달하고 있다. 보수적으로 건설비가 현 수준에서 더 높아지진 않는다 하더라도, 이미 60~70년에 걸쳐 기술 표준화를 달성한 만큼 추가적인 학습효과와 그에 따른 비용 절감을 기대하기는 어렵다.

한편, 현재 TerraPower 투자비는 1GW 기준 약 17조원으로 대형원전 대비 훨씬 높다. 그러나 이는 미국에서도 처음 진행되는 상업용 실증 프로젝트임을 고려할 필요가 있다. 향후 NRC 인허가 절차 간소화와 반복적인 설계/조립에 따른 규모의 경제, 무엇보다 학습효과 창출도 가능하다. TerraPower는 학습효과가 발생할 수 있는 경험의 기준점을 7~8번째 프로젝트로 보고 있는데, 이로 인한 투자비 절감 효과는 20~30% 내외로 전망하고 있다. 이를 감안하면 2030년 초반에는 SMR 건설비가 현재 대형원전과 유사한 수준에 도달하게 되는 셈이다.

당사는 Natrium 프로젝트의 O&M 파트너사로 참여해 운영 경험을 확보한 뒤에, 중장기로는 국내와 동남아에서 SMR 프로젝트를 개발 및 운영하는 사업자 역할을 맡겠다는 계획이다. 아직까진 구체적인 사업 구조와 수익 창출 등의 방식을 알 순 없으나, BTM 발전에서 SMR이 기저전원으로 활용될 것이라는 방향성은 분명하다. 석탄 제외한 원유/천연가스(LNG)/원전(SMR) 등 모든 에너지로 사업 포트폴리오 확장이 이뤄지고 있는 만큼 이제는 완전한 에너지 회사로의 포지셔닝이 가능하다.

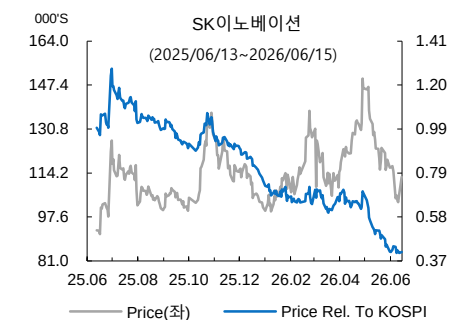
Buy (Maintain)

목표주가(12M)	190,000원(유지)
종가(2026.06.15)	112,700원
상승여력	68.6 %

Stock Indicator	
자본금	876십억원
발행주식수	16,905만주
시가총액	19,052십억원
외국인지분율	14.5%
52주 주가	91,100~149,800원
60일평균 거래량	631,613주
60일평균 거래대금	80.3십억원

주가수익률(%)	1M	3M	6M	12M
절대수익률	-8.7	0.1	-0.2	21.7
상대수익률	-22.8	-55.7	-109.1	-173.5

Price Trend



FY	2025	2026E	2027E	2028E
매출액(십억원)	80,296	102,300	92,631	84,473
영업이익(십억원)	449	3,865	2,155	3,457
순이익(십억원)	-3,348	945	404	1,010
EPS(원)	-21,056	5,549	2,370	5,928
BPS(원)	127,962	131,052	128,709	129,924
PER(배)		20.3	47.6	19.0
PBR(배)	0.8	0.9	0.9	0.9
ROE(%)	-14.4	4.3	1.8	4.6
배당수익률(%)		1.8	1.8	1.8
EV/EBITDA(배)	10.9	6.2	8.2	6.6

주: K-IFRS 연결 요약 재무제표

표1. TerraPower 기업 개요 및 주요 연혁

주요 사업	차세대 원전 기술 설계, 방사선 암치료제 원료 Ac-225 생산 (현재 임직원 약 600명)
CEO 및 주요 이사회 구성	Chris Levesque(CEO) 빌 게이츠(의장), 크리스틴 스비니키(NRC 최장수 위원), UAE 국영원전기업 CEO, 존 피테사(DukeEnergyCNO), 김무환(SK이노베이션 에너지솔루션 사업단장)
2008년	차세대 원전 기술 설계 기업 TerraPower 설립 (미국 워싱턴주 Bellevue)
2020년	미국 에너지부 ARDP(첨단 원자로 실증 프로그램) 지원 대상 선정
2021년	미국 와이오밍주 SMR 실증로 구축 착수
2022년 8월	SK(주)-SK이노베이션, TerraPower에 \$2.5억 자본 투자하여 2대 주주 등극 (SK \$1억, SK이노베이션 \$1.5억 투자)
2023년 4월	SK-한국수력원자력-TerraPower, 'SMR 개발/사업화' 협력 계약 체결
2024년 6월	TerraPower, 미국 와이오밍주에 세계 최초 SMR 실증단지 착공
2026년 1월	SK이노베이션, 한국수력원자력에 TerraPower 지분 일부 양도
2026년 3월	NRC, TerraPower 상업용 원자로 건설승인 (첨단원자로 건설승인은 미국 내 최초, 상업용 원전 건설 허가는 10년 만)
2026년 6월 (현재)	TerraPower, SMR 실증 플랜트 Natrium 프로젝트 건설 시작 (2029년 완공, 2031년 상업가동 목표)

자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

그림1. Natrium 프로젝트에 대해 설명 중인 Chris Levesque CEO



자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

그림2. 미국 와이오밍주 Kemmerer 지역에 건설 중인 Natrium 프로젝트



자료: TerraPower, iM증권 리서치본부

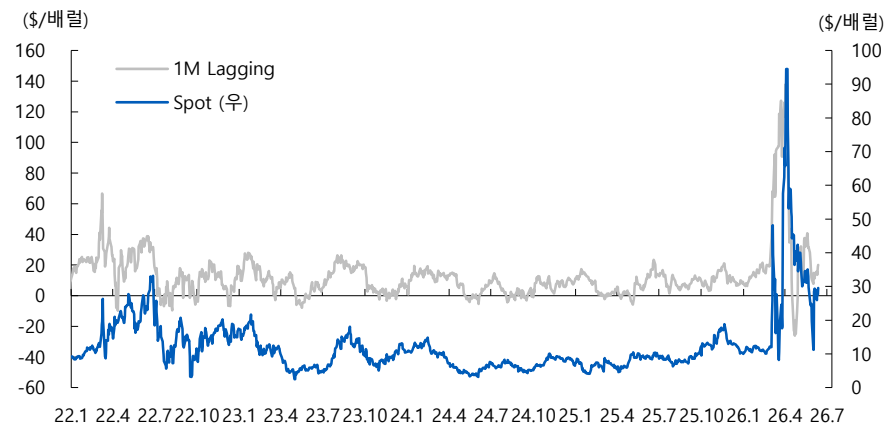
표2. SK이노베이션 사업부문별 실적 추이 및 전망

(단위: 십억원)	1Q25	2Q25	3Q25	4Q25	1Q26	2Q26F	3Q26F	4Q26F	2024	2025	2026F
합계											
매출액	21,147	19,307	20,533	19,671	24,212	26,926	25,528	25,634	74,270	80,658	102,300
영업이익	-45	-418	573	295	2,162	644	444	615	356	406	3,865
영업이익률	-0.2%	-2.2%	2.8%	1.5%	8.9%	2.4%	1.7%	2.4%	0.5%	0.5%	3.8%
석유											
매출액	11,918	11,119	12,442	11,711	30,103	16,604	15,868	15,535	49,840	47,190	78,110
영업이익	36	-466	304	475	1,946	408	153	286	461	349	2,793
영업이익률	0.3%	-4.2%	2.4%	4.1%	6.5%	2.5%	1.0%	1.8%	0.9%	0.7%	3.6%
화학											
매출액	2,477	2,269	2,301	2,121	3,213	3,599	2,630	2,635	10,352	9,168	12,078
영업이익	-114	-119	-25	-9	128	147	56	72	125	-266	402
영업이익률	-4.6%	-5.2%	-1.1%	-0.4%	4.0%	4.1%	2.1%	2.7%	1.2%	-2.9%	3.3%
유탄유											
매출액	972	894	981	990	1,222	1,325	1,230	1,211	4,235	3,836	4,988
영업이익	121	135	171	181	189	214	190	172	687	608	765
영업이익률	12.5%	15.1%	17.4%	18.3%	15.4%	16.1%	15.5%	14.2%	16.2%	15.8%	15.3%
SK-On (AMPC 반영)											
매출액	1,605	2,108	1,808	1,457	1,791	2,383	2,404	2,695	6,267	6,978	9,274
영업이익	-299	-66	-125	-441	-349	-303	-200	-140	-1,127	-932	-992
영업이익률	-18.6%	-3.2%	-6.9%	-30.3%	-19.5%	-12.7%	-8.3%	-5.2%	-18.0%	-13.4%	-10.7%
SK-On (AMPC 제외)											
매출액	1,605	2,108	1,808	1,457	1,791	2,383	2,404	2,695	6,267	6,978	9,274
영업이익	-477	-340	-298	-543	-428	-393	-361	-323	-1,420	-1,658	-1,505
영업이익률	-29.7%	-16.1%	-16.5%	-37.2%	-23.9%	-16.5%	-15.0%	-12.0%	-22.7%	-23.8%	-16.2%
AMPC 추정											
판매량(GW)	2.7	4.3	2.8	1.6	1.5	1.5	2.7	3.1	4.8	11.4	9.0
AMPC 반영	178.0	273.4	173.1	101.3	79.0	90.2	160.7	183.6	292.5	725.8	513.5
SKE&S											
매출액	3,752	2,545	2,528	3,038	3,696	2,778	3,090	3,452	3,135	11,863	13,016
영업이익	193	115	255	118	283.2	189	275	258	123	681	1,005
영업이익률	5.1%	4.5%	10.1%	3.9%	7.7%	6.8%	8.9%	7.5%	3.9%	5.7%	7.7%
소재 및 기타											
매출액	422	373	474	354	-15,814	236	305	106	441	1,623	-15,166
영업이익	18	-16	-7	-29	-34	-11	-31	-33	86	-34	-109
영업이익률	4.3%	-4.3%	-1.5%	-8.0%	0.2%	-4.7%	-10.2%	-30.9%	19.5%	-2.1%	0.7%

자료: iM증권 리서치본부

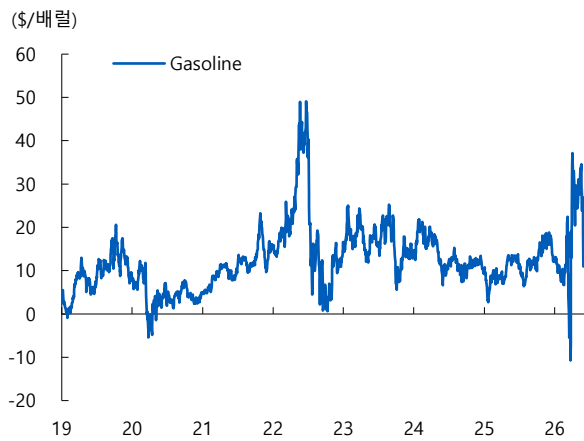
주: 1Q26부터 부문별 실적 변경되어 SKIP 실적은 정유/화학 구분하지 않고 모두 정유로 포함. 그 외 기타 부문에 1Q26만 연결조정 반영

그림3. 복합정제마진 추이



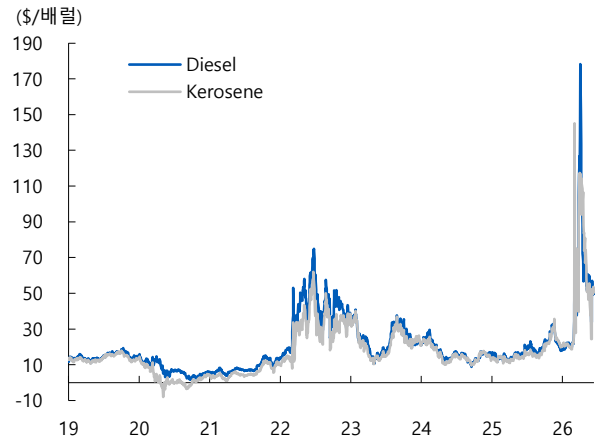
자료: Petronet, iM증권 리서치본부

그림4. 휘발유 마진 추이



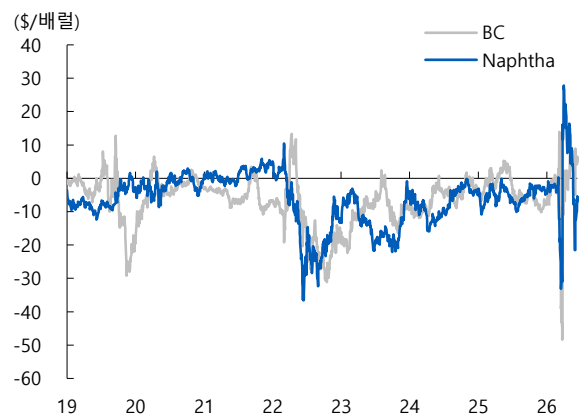
자료: Petronet, iM증권 리서치본부

그림5. 등/경유 마진 추이



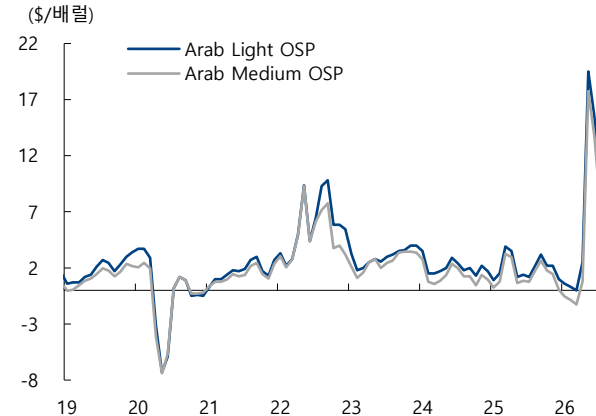
자료: Petronet, iM증권 리서치본부

그림6. 납사/BC 마진 추이



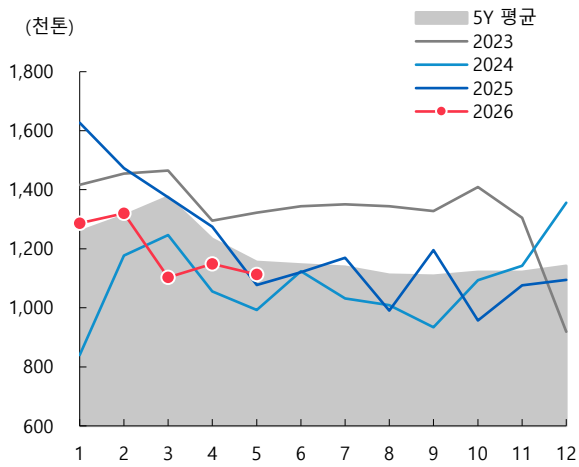
자료: Petronet, iM증권 리서치본부

그림7. 사우디 Aramco OSP 추이



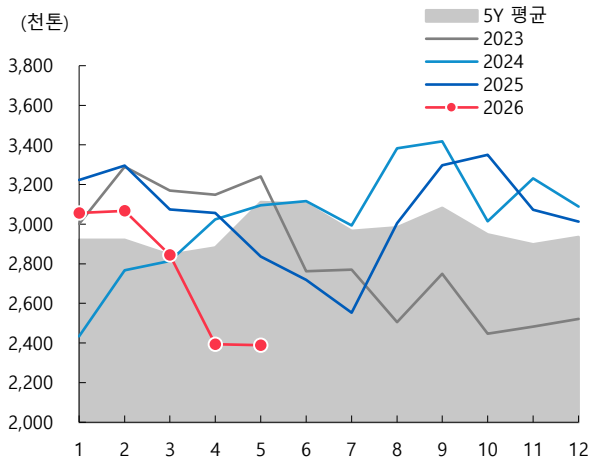
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림8. 유럽 휘발유 재고 추이



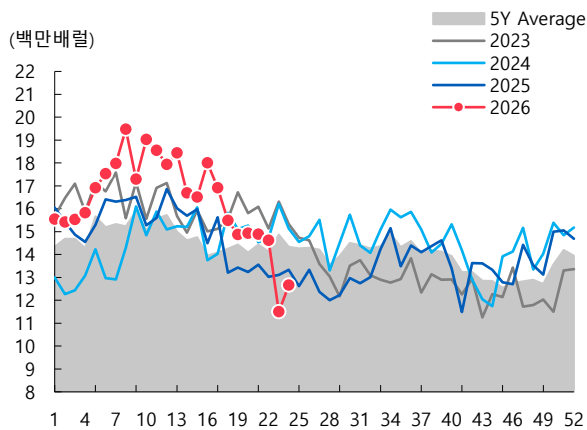
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림9. 유럽 중간유분 재고 추이



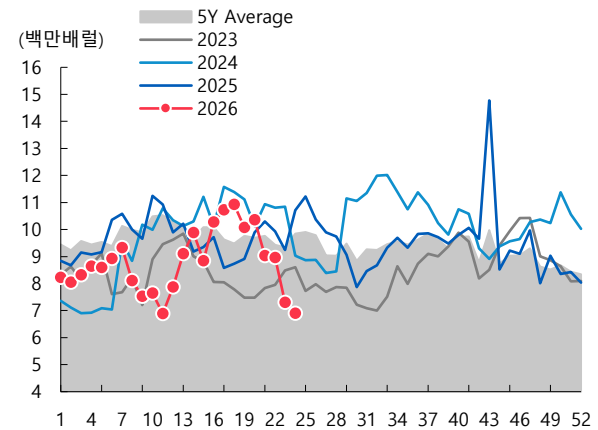
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림10. 싱가포르 경질유분 재고 추이



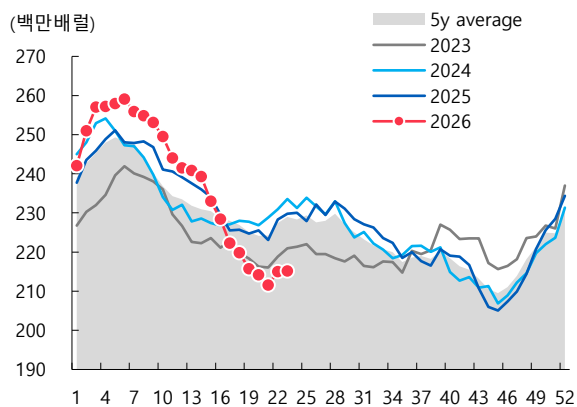
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림11. 싱가포르 중간유분 재고 추이



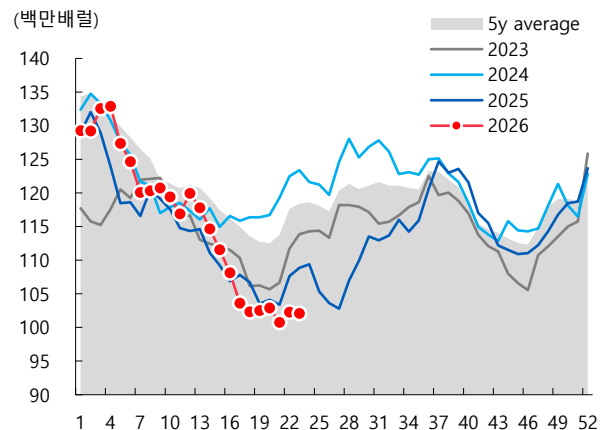
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림12. 미국 휘발유 재고 추이



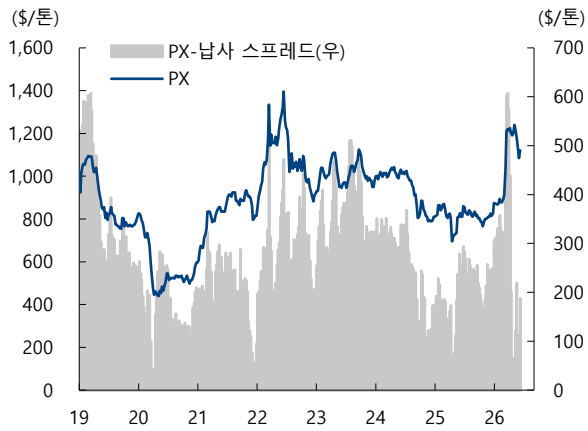
자료: EIA, iM증권 리서치본부

그림13. 미국 중간유분 재고 추이



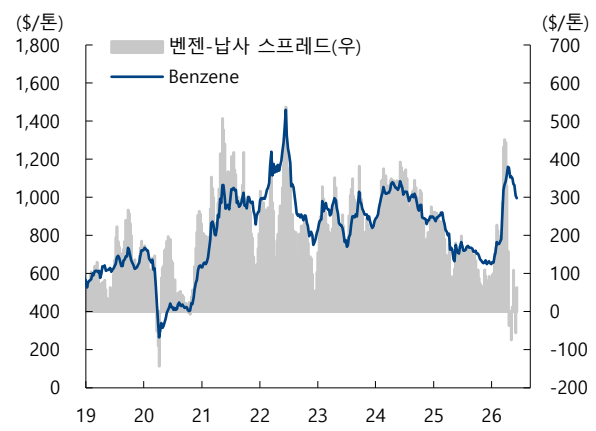
자료: EIA, iM증권 리서치본부

그림14. PX 가격 및 스프레드 추이



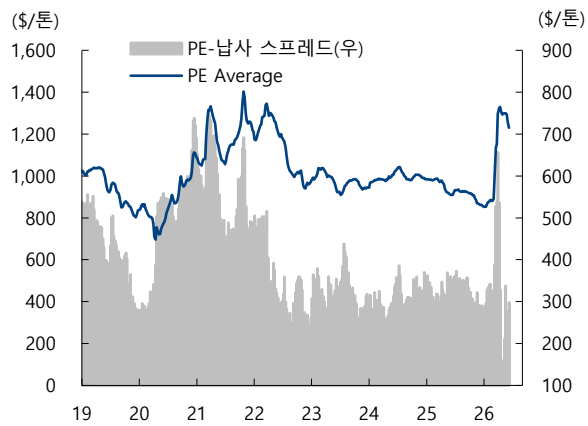
자료: Cischem, iM증권 리서치본부

그림15. 벤젠 가격 및 스프레드 추이



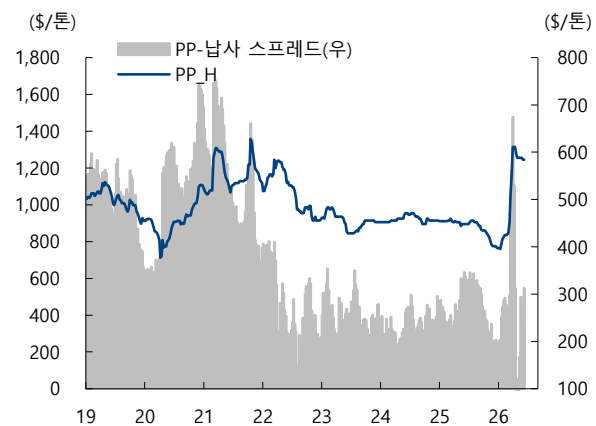
자료: Cischem, iM증권 리서치본부

그림16. PE 가격 및 스프레드 추이



자료: Cischem, iM증권 리서치본부

그림17. PP 가격 및 스프레드 추이



자료: Cischem, iM증권 리서치본부

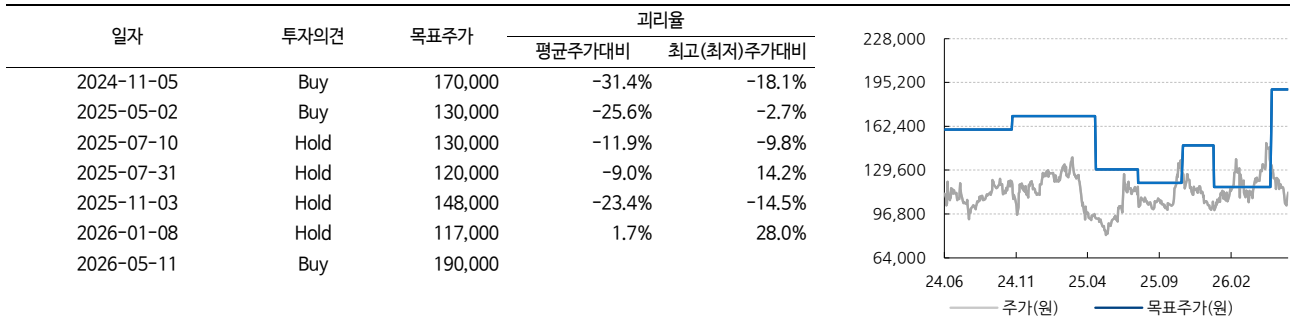
K-IFRS 연결 요약 재무제표

재무상태표					포괄손익계산서				
(십억원)	2025	2026E	2027E	2028E	(십억원, %)	2025	2026E	2027E	2028E
유동자산	42,795	47,651	45,366	42,889	매출액	80,296	102,300	92,631	84,473
현금 및 현금성자산	16,092	13,695	13,434	12,613	증가율(%)	8.1	27.4	-9.5	-8.8
단기금융자산	294	274	282	291	매출원가	75,996	93,278	85,751	76,603
매출채권	8,087	10,937	9,923	9,068	매출충이익	4,300	9,022	6,880	7,870
재고자산	9,559	13,712	12,416	11,323	판매비와관리비	4,570	5,157	4,725	4,414
비유동자산	62,813	61,009	60,315	61,541	연구개발비	368	-	-	-
유형자산	47,195	47,244	47,840	49,571	기타영업수익	719	-	-	-
무형자산	2,339	2,026	1,756	1,525	기타영업비용	-	-	-	-
자산총계	105,608	108,660	105,680	104,430	영업이익	449	3,865	2,155	3,457
유동부채	41,057	43,773	42,474	40,938	증가율(%)	26.1	761.4	-44.2	60.4
매입채무	9,140	11,645	10,544	9,616	영업이익률(%)	0.6	3.8	2.3	4.1
단기차입금	7,202	7,702	6,902	6,102	이자수익	411	350	344	323
유동성장기부채	9,372	8,844	9,200	9,139	이자비용	1,530	1,522	1,435	1,384
비유동부채	28,160	27,380	25,846	25,295	지분법이익(손실)	-246	-27	-164	-145
사채	5,806	5,806	5,006	5,006	기타영업외손익	-4,479	93	320	207
장기차입금	16,959	16,759	15,659	15,159	세전계속사업이익	-5,869	1,980	846	2,115
부채총계	69,217	71,153	68,320	66,233	법인세비용	-955	445	190	476
지배주주지분	21,792	22,318	21,919	22,126	세전계속이익률(%)	-7.3	1.9	0.9	2.5
자본금	876	876	876	876	당기순이익	-5,436	1,534	655	1,639
자본잉여금	13,245	13,245	13,245	13,245	순이익률(%)	-6.8	1.5	0.7	1.9
이익잉여금	4,304	4,916	4,986	5,662	지배주주귀속 순이익	-3,348	945	404	1,010
기타자본항목	2,670	2,585	2,116	1,647	기타포괄이익	-501	-58	-58	-58
비지배주주지분	14,599	15,189	15,441	16,071	총포괄이익	-5,938	1,476	597	1,581
자본총계	36,391	37,507	37,360	38,197	지배주주귀속총포괄이익	-	-	-	-

현금흐름표					주요투자지표				
(십억원)	2025	2026E	2027E	2028E		2025	2026E	2027E	2028E
영업활동 현금흐름	2,283	3,732	9,602	9,863	주당지표(원)				
당기순이익	-5,436	1,534	655	1,639	EPS	-21,056	5,549	2,370	5,928
유형자산감가상각비	2,865	2,901	2,685	2,569	BPS	127,962	131,052	128,709	129,924
무형자산상각비	370	314	269	231	CFPS	-707	24,422	19,717	22,370
지분법관련손실(이익)	-246	-27	-164	-145	DPS	-	2,000	2,000	2,000
투자활동 현금흐름	-4,285	-3,597	-3,737	-5,233	Valuation(배)				
유형자산의 처분(취득)	-4,802	-2,950	-3,280	-4,300	PER		20.3	47.6	19.0
무형자산의 처분(취득)	-224	-	-	-	PBR	0.8	0.9	0.9	0.9
금융상품의 증감	1,715	280	497	21	PCR	-143.1	4.6	5.7	5.0
재무활동 현금흐름	2,346	400	-2,050	-1,067	EV/EBITDA	10.9	6.2	8.2	6.6
단기금융부채의증감	-4,560	-28	-444	-861	Key Financial Ratio(%)				
장기금융부채의증감	4,960	-200	-1,900	-500	ROE	-14.4	4.3	1.8	4.6
자본의증감	2,000	-	-	-	EBITDA이익률	4.6	6.9	5.5	7.4
배당금지급	-231	-231	-231	-231	부채비율	190.2	189.7	182.9	173.4
현금및현금성자산의증감	226	-2,397	-261	-821	순부채비율	63.1	67.0	61.7	58.9
기초현금및현금성자산	15,865	16,092	13,695	13,434	매출채권회전율(x)	9.5	10.8	8.9	8.9
기말현금및현금성자산	16,092	13,695	13,434	12,613	재고자산회전율(x)	8.1	8.8	7.1	7.1

자료 : SK이노베이션, iM증권 리서치본부

SK이노베이션 투자의견 및 목표주가 변동추이



Compliance notice

당 보고서 공표일 기준으로 해당 기업과 관련하여,

- 회사는 해당 종목을 1%이상 보유하고 있지 않습니다.
- 금융투자분석사와 그 배우자는 해당 기업의 주식을 보유하고 있지 않습니다.
- 당 보고서는 기관투자자 및 제 3자에게 E-mail등을 통하여 사전에 배포된 사실이 없습니다.
- 회사는 6개월간 해당 기업의 유가증권 발행과 관련 주관사로 참여하지 않았습니다.
- 본 위원은 SK이노베이션(096770)으로부터 일부 비용을 지원 받아 미국 사이트 투어(2026. 05. 27. ~ 2026. 05. 31)를 참석하였습니다.
- 당 보고서에 게재된 내용들은 본인의 의견을 정확하게 반영하고 있으며, 외부의 부당한 압력이나 간섭 없이 작성되었음을 확인합니다.

본 분석자료는 투자자의 증권투자를 돕기 위한 참고자료이며, 따라서, 본 자료에 의한 투자자의 투자결과에 대해 어떠한 목적의 증빙자료로도 사용될 수 없으며, 어떠한 경우에도 작성자 및 당사의 허가 없이 전제, 복사 또는 대여될 수 없습니다. 무단전제 등으로 인한 분쟁발생시 법적 책임이 있음을 주지하시기 바랍니다.

[투자의견]

종목추천 투자등급

종목투자의견은 향후 12개월간 추천일 종가대비 해당종목의 예상 목표수익률을 의미함.

- Buy(매수): 추천일 종가대비 +15% 이상
- Hold(보유): 추천일 종가대비 -15% ~ 15% 내외 등락
- Sell(매도): 추천일 종가대비 -15% 이상

산업추천 투자등급

시가총액기준 산업별 시장비중대비 보유비중의 변화를 추천하는 것임

- Overweight(비중확대)
- Neutral(중립)
- Underweight(비중축소)

[투자등급 비율 2026-03-31 기준]

매수	중립(보유)	매도
88.2%	11.8%	-

NuScale Power (SMR-US)

2026.06.16

[에너지/정유/화학] 전유진

2122-9193 yujinjn@imfnsec.com

ENTRA1 이슈 일단락, 이젠 프로젝트 착수에 주목

[RA] 장호

2122-9194 hojang@imfnsec.com

미국에서 유일하게 원자로 설계인증 획득한 3.5세대 SMR 업체

2007년에 설립된 NuScale Power는 가장 대표적인 미국 SMR 업체 중 하나로, 대형원전과 동일한 가압경수로(PWR) 기반의 3.5세대 모델을 개발하고 있다. 동사는 2023년 50MW 모델에 대해 처음 NRC 설계인증을 받았고, 2025년에는 77MW 용량에 대해 표준설계승인(SDA)을 획득했다. 참고로 현재까지 미국 SMR 업체들 중에서 NRC 설계승인을 받은 업체는 동사가 유일무이하다.

2023년 설계인증 획득 이후 Idaho 지역에 UAMPS와의 합작으로 462MW 규모 발전소 건설을 추진한 바 있으나, 공사비 급증으로 인한 경제성 악화와 전력구매 미약정 등으로 결국 철회되었다. 현재는 루마니아에서 동일한 규모 SMR 발전소 건설을 추진하고 있다. 미국에서는 IPP 업체인 ENTRAI과의 파트너십을 체결해 SMR 프로젝트를 준비 중인데, ENTRAI은 테네시 최대 유틸리티 업체인 TVA와도 NuScale 원자로 모델로 6GW 규모의 발전소를 구축하는 계약을 체결한 바 있다.

Part 53 체제로 COL 승인 가속화하며 미국 SMR 점유율 선점 기대

트럼프 행정부 집권 2기 들어서 미국은 SMR 상업화 속도를 높이기 위한 정책적 지원을 확대하고 있다. 대표적으로 2025년 5월 신규 원전 건설 및 운영 허가에 대한 최종결정을 18개월 이내로 완료하도록 지시했고, 차세대 원자로들의 인허가 절차를 간소화하기 위한 Part 53 인허가 체계도 2026년 4월 도입을 완료했다.

동사는 이미 NRC로부터 표준설계승인과 설계인증을 모두 획득했고, COL 허가도 기존 Part 52 체계로 진행되고 있는 만큼 Part 53 도입에 따른 즉각적인 수혜는 제한적이다. 그러나 설계검증이 완료됐어도 향후 새로 건설하는 원자로마다 COL 허가는 별도로 받아야 하는데, 두번째 프로젝트부터는 Part 50, 52 대비 간소해진 Part 53 체계로 인허가 절차를 진행하면서 상업가동 시기를 대폭 줄여갈 수 있을 전망이다. 오히려 PWR 기반 3.5세대 모델로 이미 기술검증을 완료했다는 점에서 향후 Part 53 체계는 동사의 상업화 속도를 올리면서 미국 SMR 점유율을 빠르게 확보해가는 계기로 작용할 수 있다.

TVA 계약으로 ENTRAI 우려는 일단락, 이제는 프로젝트 착수에 집중

2025년 9월 동사와 ENTRAI 사이의 글로벌 독점적 파트너십 체결이 공식적으로 발표된 이후 ENTRAI 회사에 대한 의심과 우려가 확산되면서 동사 주가는 큰 폭 조정되었다. 기존에는 동사가 유틸리티 또는 데이터센터 등 전력 수요자들과 직접 공급계약을 체결하는 구조였으나, 당시 계약을 통해 향후 프로젝트 개발 및 판매, 글로벌 상용화 등의 권리를 모두 ENTRAI가 독점적으로 소유하게 되었다. 문제는 2023년 말로 불과 2년 전에 설립해 직원은 5명에 그치고 실제 프로젝트 운영과 개발 파이프라인도 전무했던 만큼 그 실체와 역할에 대한 의심이 확대된 것이다.

그러나 동사는 지난 2023년 투자비 급증과 일정 지연 등 프로젝트 개발 관련된 문제로 CFPP 프로젝트 철회를 경험했던 만큼 SMR 원자로 설계/생산과 프로젝트 개발/자금조달을 구분 운영할 필요성을 느꼈던 것으로 추정된다. 이후 ENTRAI는 미국 테네시 최대 유틸리티 업체 TVA와 6GW 발전소 계약을 체결한 만큼 해당 이슈는 노이즈로 마무리되고, 이제 실제 프로젝트 착수에 더 집중할 필요가 있다.

Global Company Brief

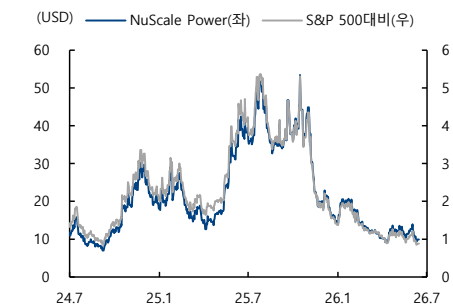
블룸버그 최고 목표가	USD 25.00
블룸버그 최저 목표가	USD 7.00
증가(2026-06-12)	USD 9.89

Stock Indicator

거래소	NYSE
발행주식수	346.1 백만주
시가총액	3.6 백만USD
결산월	12월
52주 최고가(USD)	USD 57.42
52주 최저가(USD)	USD 8.85

주가수익률(%)	1M	3M	6M	12M
절대수익률	-11.9	-16.2	-43.2	-74.5
상대수익률	-12.2	-25.2	-47.9	-79.5

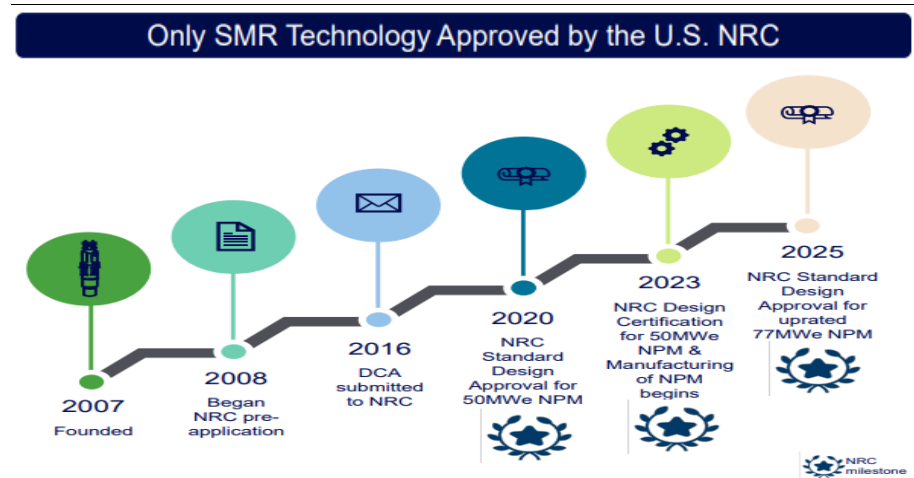
Price Trend



FY	FY22	FY23	FY24	FY25
매출액(백만USD)	11.8	22.8	37.0	31.5
영업이익(백만USD)	-230.0	-275.6	-138.7	-689.6
순이익(백만USD)	-25.9	-58.4	-136.6	-355.8
EPS(USD)	-0.5	-0.8	-1.5	-2.2
BPS(USD)	0.5	0.4	2.2	3.5
PER(x)	-	-	-	-
PBR(x)	20.3	8.1	8.0	4.1
ROE(%)	-	-56.1	-38.4	-39.8
배당수익률(%)	-	-	-	-
EV/EBITDA(x)	-	-	-	-

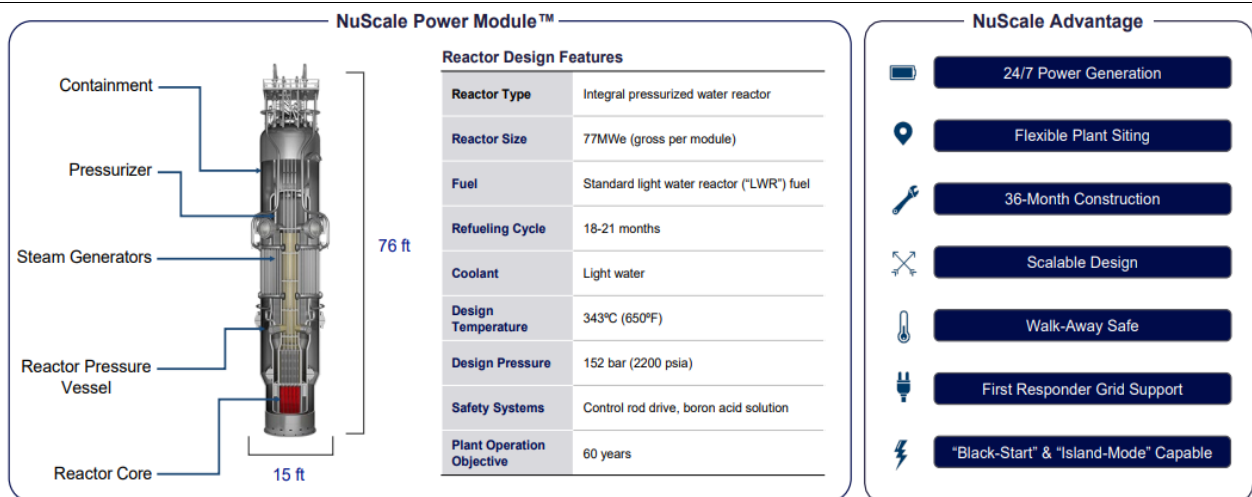
주: US-GAAP 기준

그림1. NuScale Power, NRC에서 원자로 설계승인 획득 내역



자료: NuScale Power, iM증권 리서치본부

그림2. NuScale Power 원자로 모델 특성과 장점



자료: NuScale Power, iM증권 리서치본부

표1. NuScale Power 영업실적 추이

(단위: 백만\$, %)	1Q25	2Q25	3Q25	4Q25	1Q26	2Q26C	3Q26C	4Q26C	2024	2025	2026C
매출액	13.4	8.1	8.2	1.8	0.6	12.2	16.0	18.2	37.0	31.5	47.0
매출총이익	3.1	3.1	2.8	2.8	8.2	2.8	4.6	5.4	3.8	11.7	21.0
GPM(%)	23.1	38.5	33.8	152.7	1,445.1	23.2	28.6	29.9	10.1	37.3	44.7
EBITDA	-35.3	-43.1	-538.4	-72.7	-57.5	-56.3	-58.9	-57.8	-138.7	-689.6	-230.4
EBITDA마진(%)	-264.1	-534.9	-6,532.9	-4,022.2	-10,181.2	-461.6	-367.2	-317.2	-374.5	-2,190.6	-490.3
당기순이익	-35.0	-42.8	-538.1	-72.5	-57.2	-48.3	-50.4	-51.1	-136.9	-688.4	-207.0
NPM(%)	-261.8	-531.1	-6,529.3	-4,007.3	-10,126.5	-396.1	-314.4	-280.6	-369.5	-2,186.8	-440.5
OCF	-14.0	-17.6	-273.3	-50.8	-44.0	-44.6	-42.2	-47.1	-136.6	-355.8	-177.9
CAPEX	-104.7	-219.0	-3,316.2	-2,811.3	-7,790.3	-365.4	-263.3	-258.6	-368.8	-1,130.3	-378.4
FCF	-22.8	-33.3	-199.8	-203.7	-314.7	-43.9	-197.4	-73.1	-108.7	-459.6	-629.0

자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

표2. NRC 원전 인허가 방식 비교

구분	현재 운영 중인 인허가 방식			현재 미도입
	Part50	Part52	Part53	Part57
도입 시기	1950~60년대 체계	1989년 도입	2026년 3월 도입(4월 말부터 적용)	2026년 제안
대상	대형 경수로 중심	대형 경수로 중심	첨단원자로 전반	저위험 SMR·마이크로리액터
인허가 방식	CP→ 건설 → OL	DC→ COL → 건설	위험도·성능 기반	위험도 기반 간소화
기술 범위	PWR/BWR 중심	PWR/BWR 중심	PWR, BWR, SFR, HTGR, MSR 등	SMR, 마이크로리액터
설계 최종확정 여부	건설 전에 설계 최종확정 불필요	건설 전에 설계 최종 확정 필요	기술 중립적 심사	표준화 설계 강조
건설 후 운영허가	별도 필요	COL에 포함	미정	간소화 추진
대표 대형원전 사례	Susquehanna, South Texas 등 1970~1990년대 건설된 원전들 TerraPower, Kairos	Vogtle #3,4 (현재 운영 중) VC Summer #2,3 (현재 건설 중단) NuScale, GE Hitachi	- NuScale, TerraPower (예상)	- Oklo, Radiant, Aalo (예상)

자료: iM증권 리서치본부

그림3. NuScale 독점적 파트너사인 ENTRAI, 미국 테네시 최대 유틸리티 업체 TVA와 6GW 발전소 구축 계약 체결

ENTRA1: Our Exclusive Strategic Partner for Commercial Growth

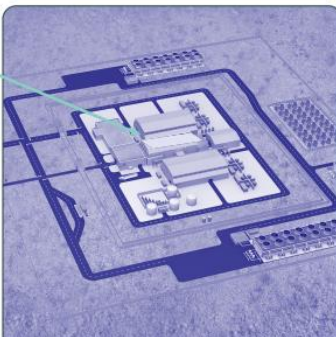
NuScale Power

NuScale Power sells NuScale Power Modules™ to ENTRAI1 to be installed in reactor building of ENTRAI1 Energy Plants™



ENTRA1 Energy Plants™ with NuScale Technology

ENTRA1 is NuScale's exclusive global strategic partner commercializing our SMR technology



ENTRA1 and NuScale Power Partnership

Through this partnership, ENTRAI1 develops, finances, and depending on the business model, owns and operates energy production plants powered by NuScale's SMR technology. ENTRAI1's approach of providing customized plant development, ownership, and operating structures de-risks the project and meets each customer's unique needs

OFF-TAKER POWER PURCHASE AGREEMENT (PPA)

After financing and developing the project, ENTRAI1 owns the plant and sells energy under a long-term PPA to an off-taker.

BUILD, OWN, TRANSFER

ENTRA1 develops, finances and owns the plant and transfers the ownership or a portion of it to a new owner at mechanical completion based on a pre-agreed valuation/formula.

DEPLOYMENT AND FINANCING

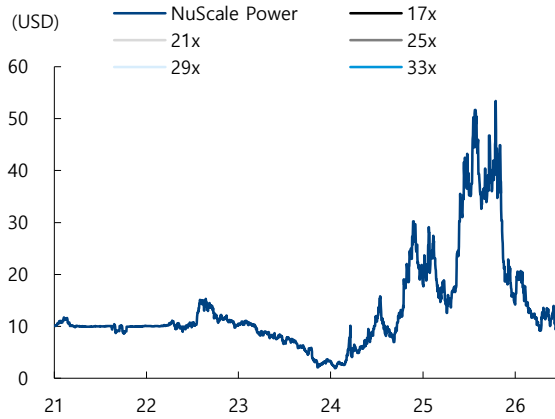
ENTRA1 assists in development of the power plant which will be owned and operated by a utility or another owner where ENTRAI1 receives a development fee and royalty payments.

ENTRA1 signed an agreement with Tennessee Valley Authority to deploy up to 6 gigawatts of NuScale SMR capacity

자료: NuScale Power, iM증권 리서치본부

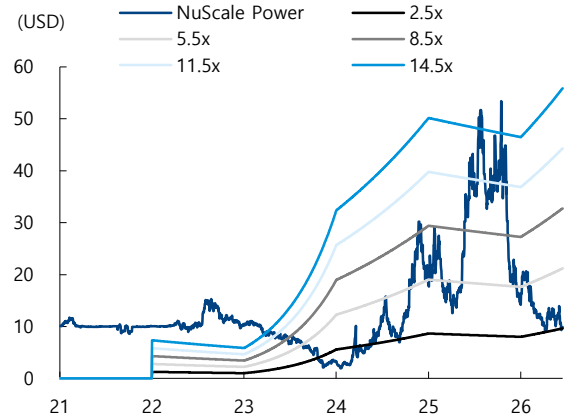
주요 투자 지표

그림4. NuScale Power PER 밴드



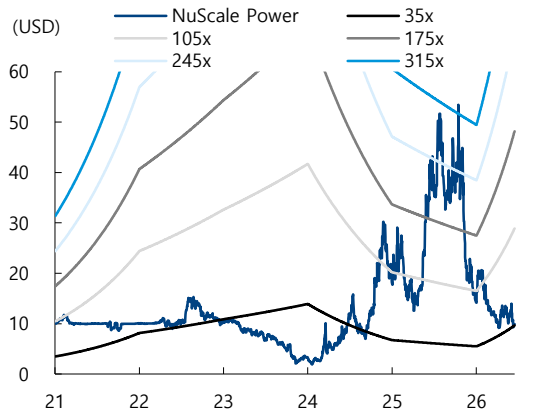
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림5. NuScale Power PBR 밴드



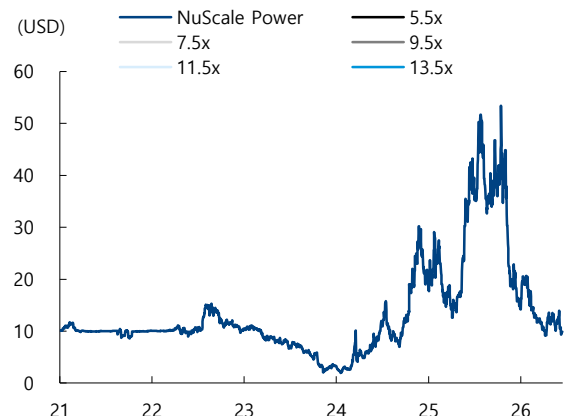
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림6. NuScale Power PSR 밴드



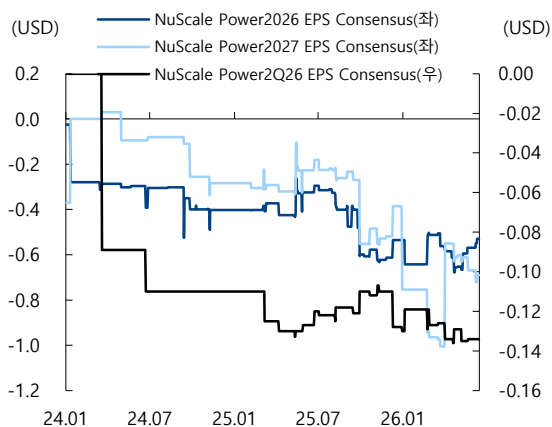
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림7. NuScale Power EV/EBITDA 밴드



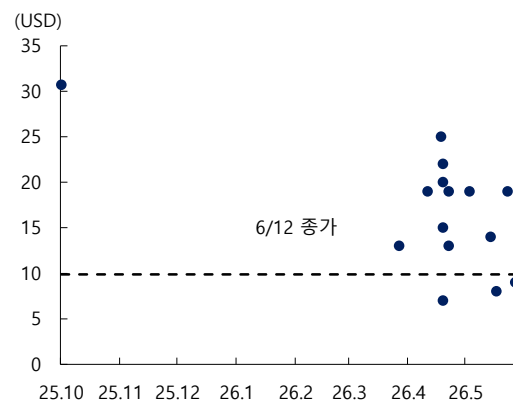
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림8. NuScale Power EPS 컨센서스 추이



자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림9. NuScale Power 최근 목표주가 분포



자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

재무제표

재무상태표				
(백만USD)	FY 22	FY 23	FY 24	FY 25
유동자산	284.4	154.5	471.1	1,272.6
현금 및 현금성자산	217.7	120.3	401.6	836.4
매출채권	0.0	0.0	21.1	8.4
비유동자산	64.2	70.3	73.5	139.9
유형자산	4.8	4.1	2.4	1.9
무형자산	26.2	26.0	25.9	25.7
자산총계	348.6	224.9	544.7	1,412.5
유동부채	38.6	87.5	89.7	296.1
비유동부채	33.0	8.1	1.8	2.9
부채총계	71.5	95.5	91.6	299.0
지배주주지분	114.7	93.5	618.7	1,168.8
자본금	296.8	333.9	995.8	1,901.7
이익잉여금	-182.1	-240.5	-377.1	-732.9
자본총계	277.1	129.3	453.1	1,113.6

현금흐름표				
(백만USD)	FY 22	FY 23	FY 24	FY 25
영업활동 현금흐름	-148.6	-183.3	-108.7	-459.6
당기순이익	-25.9	-58.4	-136.6	-355.8
유무형자산감가상각비	2.7	2.6	1.8	1.2
비현금항목	-117.7	-168.8	17.1	-305.8
투자활동 현금흐름	-52.3	48.3	-39.8	-411.3
유무형자산의 처분	0.0	0.0	0.0	0.0
유무형자산의 취득	-2.3	-1.7	0.0	-0.5
기타투자활동	-50.0	50.0	-39.8	131.2
재무활동 현금흐름	368.1	16.1	429.8	1,305.7
부채의 증감	339.1	0.0	0.0	0.0
자본의 증감	29.0	16.1	432.4	1,306.1
배당금 지급	0.0	0.0	0.0	0.0
기타 재무활동	0.0	0.0	-2.6	-0.4
현금및현금성자산의증감	140.6	-97.4	281.3	434.9
기초현금및현금성자산	77.1	217.7	120.3	401.6
기말현금및현금성자산	217.7	120.3	401.6	836.4
잉여현금흐름	-150.9	-185.0	-108.7	-460.1

자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

주: US-GAAP 기준

포괄손익계산서				
(백만USD, %)	FY 22	FY 23	FY 24	FY 25
매출액	11.8	22.8	37.0	31.5
매출원가	7.3	19.0	4.9	20.0
매출총이익	4.5	3.8	32.1	11.4
판매비와관리비	55.3	65.4	75.9	609.8
EBITDA	-227.3	-273.0	-136.9	-688.4
영업이익	-230.0	-275.6	-138.7	-689.6
영업이익률	-1,948.4	-1,208.1	-374.5	-2,190.6
세전계속사업이익	-141.6	-180.1	-346.5	-664.1
법인세비용	0.0	0.0	1.9	0.3
당기순이익	-25.9	-58.4	-136.6	-355.8
성장률 (YoY)				
매출액	312.4	93.2	62.4	-15.0
영업이익	적지	적지	적지	적지
순이익	적지	적지	적지	적지

주요투자지표				
	FY 22	FY 23	FY 24	FY 25
주당지표 (USD)				
EPS	-0.5	-0.8	-1.5	-2.2
BPS	0.5	0.4	2.2	3.5
CFPS	-2.9	-2.5	-1.2	-2.8
DPS	0.0	0.0	0.0	0.0
Valuation(배)				
PER	-	-	-	-
PBR	20.3	8.1	8.0	4.1
PCR	-	-	-	-
EV/EBITDA	-	-	-	-
Key Financial Ratio(%)				
ROE	-	-56.1	-38.4	-39.8
EBITDA이익률	-1,925.6	-1,196.9	-369.5	-2,186.8
부채비율	25.8	73.9	20.2	26.8
순부채비율	-78.6	-93.0	-97.4	-112.6
매출채권회전율(x)	0.3	0.5	0.1	0.1
재고자산회전율(x)	-	-	-	-

Compliance notice

당 보고서 공표일 기준으로 해당 기업과 관련하여,

- 회사는 해당 종목을 1%이상 보유하고 있지 않습니다.
- 금융투자분석사와 그 배우자는 해당 기업의 주식을 보유하고 있지 않습니다.
- 당 보고서는 기관투자자 및 제 3자에게 E-mail등을 통하여 사전에 배포된 사실이 없습니다.
- 회사는 6개월간 해당 기업의 유가증권 발행과 관련 주관사로 참여하지 않았습니다.
- 당 보고서에 게재된 내용들은 본인의 의견을 정확하게 반영하고 있으며, 외부의 부당한 압력이나 간섭 없이 작성되었음을 확인합니다.

본 분석자료는 투자자의 증권투자를 돕기 위한 참고자료이며, 따라서, 본 자료에 의한 투자자의 투자결과에 대해 어떠한 목적의 증빙자료로도 사용될 수 없으며, 어떠한 경우에도 작성자 및 당사의 허가 없이 전재, 복사 또는 대여될 수 없습니다. 무단전재 등으로 인한 분쟁발생시 법적 책임이 있음을 주지하시기 바랍니다.

[투자의견]

종목추천 투자등급	산업추천 투자등급
종목투자자의견은 향후 12개월간 추천일 증가대비 해당종목의 예상 목표수익률을 의미함.	시가총액기준 산업별 시장비중대비 보유비중의 변화를 추천하는 것임
· Buy(매수): 추천일 증가대비 +15%이상	· Overweight(비중확대)
· Hold(보유): 추천일 증가대비 -15% ~ 15% 내외 등락	· Neutral (중립)
· Sell(매도): 추천일 증가대비 -15%이상	· Underweight (비중축소)

[투자등급 비율 2026-03-31 기준]

매수	중립(보유)	매도
88.2%	11.8%	-

Oklo (OKLO-US)

2026.06.16

[에너지/정유/화학] 전유진

2122-9193 yujinjn@imfnsec.com

Part 57 체계 도입 시 NRC 조기승인 수혜 기대

[RA] 장호

2122-9194 hojang@imfnsec.com

4세대 첨단 SMR 개발 중인 미국의 전력 판매 업체

2013년 설립된 Oklo는 소듐냉각고속로(SFR) 기반 초소형 SMR 설계 업체이다. 다만, 현재 차세대 원자로 설계 및 판매에만 집중하고 있는 다른 SMR 업체들과 달리, 동사는 핵연료제조와 사용후핵연료 재활용, 원자로 가동을 통한 전력 PPA 판매까지 보다 수직계열화된 사업을 추진하고 있다는 점에서 차별화된다.

지난 2020년 동사가 개발 중인 SMR 모델 Aurora의 COL(건설 및 운영 허가)를 신청했으나, 2022년 NRC의 반력으로 아직까지는 설계인증과 건설허가를 획득하지 못한 상황이다. 다만, 2025년 미국 에너지부에서 추진한 Reactor Pilot Program 참가를 확정해 Aurora-INL 프로젝트 실증 작업을 진행하고 있다. 현재는 예비 안정성 분석인 PDSA 검토가 진행 중인데, 최종 안정성 분석인 DSA 승인까지 완료되면 2027~2028년에 실증 가동하고, 향후 이를 바탕으로 NRC 상업허가를 다시 신청한다는 계획이다.

향후 Part 57 인허가 체계 도입되면, NRC 조기 승인의 수혜 기대

특히 미국 SMR 상업화 속도를 높이기 위한 정책적인 지원 중 하나로 NRC에서는 원전 인허가 체계 개편을 추진하고 있다. 기존 대형원전 중심의 인허가 방식에서 벗어나 차세대 원자로 전용 체계인 Part 53 방식은 2026년 4월부터 실제 적용이 가능해졌고, 그보다 작은 용량의 마이크로리액터에 특화된 Part 57 체계 도입을 위한 절차도 현재 진행 중에 있다. Part 57 방식의 핵심은 에너지부와 국방부에서 수행하는 실증 데이터를 NRC 심사에 적극 활용해 중복되는 검토를 최소화하고, EPZ와 보안요건 등도 실제 위험도에 비례해서 차등 적용하는 방향으로 설계하는 것이다. 안전성 검증이 이미 완료되어 NRC가 검토해야 하는 정보가 간소화되는 만큼 Part 57 체계로 인허가 검토가 진행된다면 시간과 절차가 크게 줄 수 있다.

Part 57 체계는 동사와 같은 마이크로리액터에 특화된 인허가 체계인 만큼 해당 체계 도입은 NuScale, TerraPower, GE Hitachi 등 대형 SMR 업체들 대비 동사에 보다 직접적인 수혜 기회로 작용할 수 있다. 에너지부 실증 프로젝트에 Part 57 체계까지 활용해 NRC 상업허가를 조기에 받게 되면 Meta와의 1.2GW 발전소 구축 계획도 빠르게 진행될 수 있을 전망이다.

당장의 밸류에이션보다는 큰 그림에서의 방향성에 집중

동사는 현재 이익 창출원 부재로 '26년 PSR 5,100배, '27년 2,800배에 달하는데, NuScale, X-energy의 평균 52배, 14배 대비 높은 수준이다. Meta 등 빅테크와의 협력 체결로 주주잔고는 확보하고 있으나, 매출 인식을 당장 기대하기는 어렵다.

절대적인 밸류에이션 부담은 분명 높지만, 현재 SMR 산업은 전통적인 실적 기반 가치 평가보다는 라이선스 확보와 상업화 진입 순서를 선반영하는 국면에 있다. 중장기적으로 AI 데이터센터 BTM 발전에서 SMR이 기저발전원의 역할을 맡을 것임은 분명한 방향인데, DSA 승인 및 Part 57 수혜로 상업용 건설/운영 승인을 조기에 확보하게 되면 향후 AI 데이터센터향 주주 경쟁에서 선점 효과가 발휘될 수 있다. 실적과 밸류에이션보다는 큰 그림에서의 방향성에 집중할 때이다.

Global Company Brief

블룸버그 최고 목표가	USD 140.00
블룸버그 최저 목표가	USD 14.00
증가(2026-06-12)	USD 57.49

Stock Indicator

거래소	NYSE
발행주식수	174.0 백만주
시가총액	10.1 백만USD
결산월	12월
52주 최고가(USD)	USD 193.84
52주 최저가(USD)	USD 44.88

주가수익률(%)	1M	3M	6M	12M
절대수익률	-19.9	-0.3	-44.5	15.5
상대수익률	-19.7	-9.0	-48.5	-6.1

Price Trend



FY	FY22	FY23	FY24	FY25
매출액(백만USD)	-	-	-	-
영업이익(백만USD)	-1.8	-18.6	-52.8	-139.3
순이익(백만USD)	3.9	-32.2	-73.6	-105.7
EPS(USD)	0.1	-0.5	-0.7	-0.7
BPS(USD)	7.7	-0.5	1.8	9.2
PER(x)	163.0	-	-	-
PBR(x)	1.3	-	11.7	7.8
ROE(%)	0.8	-	-	-12.2
배당수익률(%)	-	-	-	-
EV/EBITDA(x)	-	-	-	-

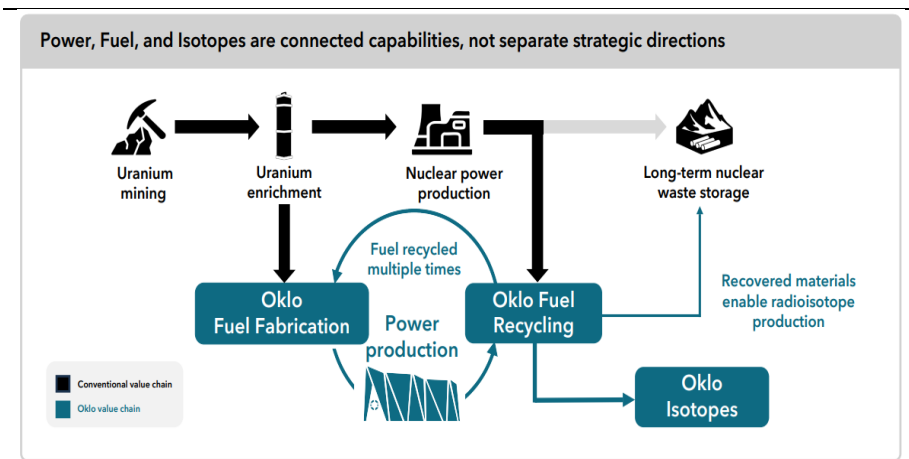
주: US-GAAP 기준

표1. Oklo 영업실적 추이

(단위: 백만\$, %)	1Q25	2Q25	3Q25	4Q25	1Q26	2Q26C	3Q26C	4Q26C	2024	2025	2026C
매출액	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.2	0.0	0.0	2.0
매출총이익	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GPM(%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0
EBITDA	-17.9	-28.0	-36.3	-57.1	-51.2	-42.3	-44.4	-45.1	-52.8	-139.3	-183.0
EBITDA마진(%)	-	-	-	-	-	-20,936.5	-7,007.9	-3,873.9	-	-	-9,155.6
당기순이익	-17.6	-27.7	-35.9	-56.4	-50.9	-42.7	-44.7	-44.7	-52.5	-137.6	-182.9
NPM(%)	-	-	-	-	-	-21,127.6	-7,052.6	-3,841.5	-	-	-9,150.5
OCF	-9.8	-24.7	-29.7	-41.4	-33.1	-25.5	-27.7	-29.3	-73.6	-105.7	-115.6
CAPEX	-	-	-	-	-	-12,643.6	-4,372.5	-2,521.4	-	-	-5,785.3
FCF	-12.2	-18.5	-18.0	-33.4	-17.9	-29.9	-19.3	-16.4	-38.4	-82.2	-83.4

자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림1. Oklo 사업 밸류체인: 원자로 설계 + 연료 생산 + 사용후연료재활용 + 동위원소 생산



자료: Oklo, iM증권 리서치본부

그림2. DOE의 Reactor Pilot Program에서 추진 중인 Aurora-INL 프로젝트 및 현재 진행상황

Groves DOE authorization progress

Completed

- ✓ Executed Other Transaction Agreement (OTA)
- ✓ Received approval for NSDA

Current

- PDSA in review

Next DOE milestones

- Approval of DSA
- Complete Readiness Review and receive Startup Approval

NRC progress

- NRC approved the Principal Design Criteria (PDC) topical report

Procurement & site development

- Long-lead procurement work advancing across major systems
- Supplier engagement progressing for identified reactor module and balance-of-plant needs
- Site preparation and construction activities and field execution progressing
- Strategic Partnership Project with Battelle Energy Alliance (BEA) to use AI to accelerate advanced reactor and fuel-system design work

Oklo's Aurora-INL site (Idaho) (Images: Oklo)

자료: Oklo, iM증권 리서치본부

표2. NRC 원전 인허가 방식 비교

구분	현재 운영 중인 인허가 방식			현재 미도입
	Part50	Part52	Part53	Part57
도입 시기	1950~60년대 체계	1989년 도입	2026년 3월 도입(4월 말부터 적용)	2026년 제언
대상	대형 경수로 중심	대형 경수로 중심	첨단원자로 전반	저위험 SMR·마이크로리액터
인허가 방식	CP→ 건설 → OL	DC→ COL → 건설	위험도·성능 기반	위험도 기반 간소화
기술 범위	PWR/BWR 중심	PWR/BWR 중심	PWR, BWR, SFR, HTGR, MSR 등	SMR, 마이크로리액터
설계 최종확정 여부	건설 전에 설계 최종확정 불필요	건설 전에 설계 최종 확정 필요	기술 중립적 심사	표준화 설계 강조
건설 후 운영허가	별도 필요	COL에 포함	미정	간소화 추진
대표 대형원전 사례	Susquehanna, South Texas 등 1970~1990년대 건설된 원전들 TerraPower, Kairos	Vogtle #3,4 (현재 운영 중) VC Summer #2,3 (현재 건설 중단) NuScale, GE Hitachi	- NuScale, TerraPower (예상)	- Oklo, Radiant, Aalo (예상)

자료: iM증권 리서치본부

그림3. NRC, 초소형원자로용 인허가 방식 Part 57 도입 추진 및 주요 내용

EO14300 Rulemaking

NRC Proposes a New Licensing Framework to Accelerate Safe, High-Volume Deployment of Microreactors

No: 26-047
CONTACT: [Office of Public Affairs](#), 301-415-8200

April 24, 2026

A few key features of the proposed Part 57 rule include:

- Requesting approval of fleets of identical reactors,
- Allowing appropriate use of alternative design standards and programs for novel reactor operation,
- Streamlining environmental reviews for projects with demonstrated minimal impacts, and
- Providing a pathway for limited construction prior to receiving an NRC permit.

Part57 주요 내용	해당 항목 적용을 통해 추구하고자 하는 방향
1. Approval of fleets of identical reactors	동일 설계 원자로 여러 기 한 번에 승인 (표준모델 대량 배치)
2. Alternative design standards	기존 경수로 기준 외 새로운 설계 기준 허용 (기술중립성 확대)
3. Streamlined environmental reviews	환경영향이 작은 프로젝트는 환경심사 간소화 (입지 확보 기간 단축)
4. Limited construction before permit	일부 공사는 NRC 허가 전에 진행 가능 (프로젝트 일정 단축)

자료: NRC, iM증권 리서치본부

표3. Oklo Peer Valuation

(백만\$, %, 배)	NuScale Power	X-Energy	Oklo	Centrus Energy	ASP Isotopes	Uranium Energy	Energy Fuels
증가(현자통화)	9.9	18.6	57.5	162.6	6.6	11.0	15.0
시가총액(백만\$)	3,614.6	7,554.3	10,002.7	3,198.4	824.7	5,458.4	3,758.0
현자통화	USD	USD	USD	USD	USD	USD	USD
매출액(백만\$)							
FY2025	31	-	0	449	24	67	66
FY2026	52	-	2	466	36	33	145
FY2027	187	-	4	499	88	120	245
영업이익(백만\$)							
FY2025	-690	-	-139	50	-60	-73	-101
FY2026	-272	-	-190	27	-62	-91	-35
FY2027	-301	-	-211	32	-33	-23	24
EBITDA(백만\$)							
FY2025	-688	-	-138	61	-57	-69	-96
FY2026	-266	-	-175	54	-52	-65	-21
FY2027	-338	-	-182	91	-10	40	65
당기순이익(백만\$)							
FY2025	-356	-	-106	78	-175	-88	-86
FY2026	-198	-184	-109	63	-56	-75	-33
FY2027	-217	-200	-135	64	-86	-18	46
OPM(%)							
FY2025	-2,190.6	-	-	11.2	-251.2	-109.7	-153.4
FY2026	-528.3	-100.4	-9,712.3	5.9	-170.1	-274.9	-24.1
FY2027	-161.1	-30.5	-5,928.9	6.5	-37.4	-19.4	9.6
ROE(%)							
FY2025	-	-	-	-	-	-	-
FY2026	-15.4	-12.7	-5.3	9.0	-23.0	-2.0	-11.0
FY2027	-18.5	-8.5	-5.9	7.2	6.0	4.0	8.0
PSR(배)							
FY2025	73.7	-	-	9.7	18.6	55.5	61.6
FY2026	70.1	34.9	5116.5	6.9	22.7	164.6	25.9
FY2027	19.3	8.9	2808.2	6.4	9.4	45.4	15.3
PER(배)							
FY2025	-	-	-	62.2	-	-	-
FY2026	-	-	-	53.9	-	-	-
FY2027	-	-	-	56.1	-	-	131.9
PBR(배)							
FY2025	4.10	-	7.80	6.24	2.93	4.00	-
FY2026	3.09	3.53	3.78	4.44	-	3.92	-
FY2027	1.70	3.83	3.95	3.43	-	4.07	-

자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

주: 2026~2027년 수치는 Bloomberg 추정치 기준

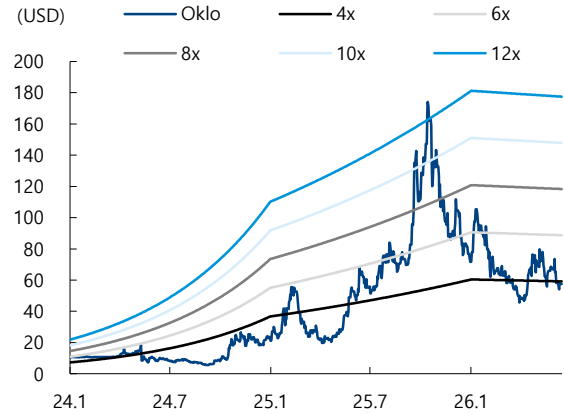
주요 투자 지표

그림4. Oklo PER 밴드



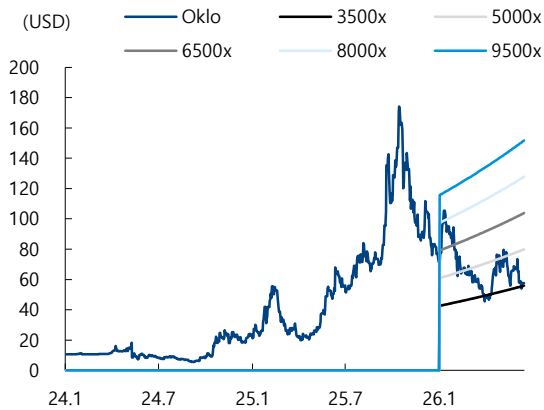
자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림5. Oklo PBR 밴드



자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림6. Oklo PSR 밴드



자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림7. Oklo EV/EBITDA 밴드



자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

그림8. Oklo EPS 컨센서스 추이

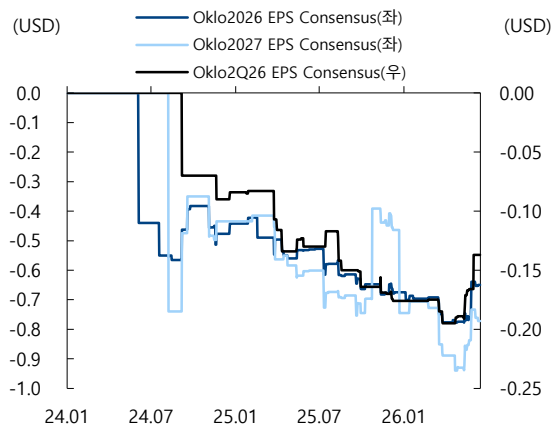
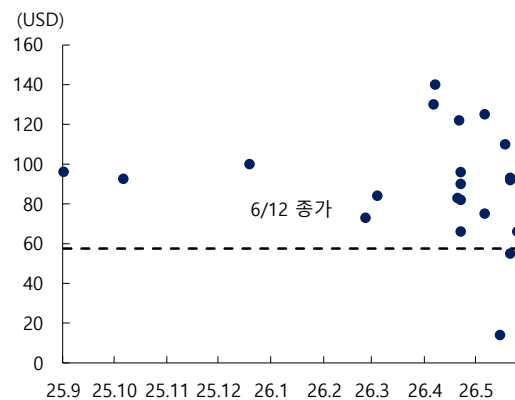


그림9. Oklo 최근 목표주가 분포



자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

재무제표

재무상태표				
(백만USD)	FY 22	FY 23	FY 24	FY 25
유동자산	4.0	14.2	231.9	1253.8
현금 및 현금성자산	3.6	9.9	97.1	788.4
매출채권	0.0	0.0	0.0	0.0
비유동자산	506.1	0.7	49.8	274.7
유형자산	0.0	0.6	1.2	42.3
무형자산	0.0	0.0	0.0	34.1
자산총계	510.1	14.9	281.7	1528.5
유동부채	1.5	3.2	5.3	25.5
비유동부채	17.9	46.0	25.5	26.7
부채총계	19.4	49.2	30.9	52.2
지배주주지분	490.7	-34.4	250.9	1476.2
자본금	504.5	27.1	383.8	1715.8
이익잉여금	-13.8	-61.5	-135.1	-240.8
자본총계	490.7	-34.4	250.9	1476.2

현금흐름표				
(백만USD)	FY 22	FY 23	FY 24	FY 25
영업활동 현금흐름	-1.0	-16.0	-38.4	-82.2
당기순이익	3.9	-32.2	-73.6	-105.7
유무형자산감가상각비	0.0	0.1	0.3	0.5
비현금항목	-6.9	14.5	39.7	33.7
투자활동 현금흐름	1.2	-0.1	-175.8	-489.7
유무형자산의 처분	0.0	0.0	0.0	0.0
유무형자산의 취득	0.0	-0.1	-0.4	-33.2
기타투자활동	1.2	0.0	-175.4	-455.6
재무활동 현금흐름	0.0	16.3	301.4	1263.2
부채의 증감	0.0	0.0	0.0	0.0
자본의 증감	0.0	0.1	1.0	1266.0
배당금 지급	0.0	0.0	0.0	0.0
기타 재무활동	0.0	16.2	300.4	-2.8
현금및현금성자산의증감	0.2	6.3	87.3	691.3
기초현금및현금성자산	3.3	3.6	9.9	97.1
기말현금및현금성자산	3.6	9.9	97.1	788.4
잉여현금흐름	-1.0	-16.1	-38.7	-115.4

자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

주: US-GAAP 기준

자료: Bloomberg, iM증권 리서치본부

포괄손익계산서				
(백만USD, %)	FY 22	FY 23	FY 24	FY 25
매출액	0.0	0.0	0.0	0.0
매출원가	0.0	0.0	0.0	0.0
매출총이익	0.0	0.0	0.0	0.0
판매비와관리비	-	8.9	26.1	80.4
EBITDA	-	-18.6	-52.5	-137.6
영업이익	-1.8	-18.6	-52.8	-139.3
영업이익률	-	-	-	-
세전계속사업이익	5.4	-32.2	-72.9	-110.2
법인세비용	1.5	0.0	0.7	-4.5
당기순이익	3.9	-32.2	-73.6	-105.7
성장률 (YoY)				
매출액	-	-	-	-
영업이익	적전	적지	적지	적지
순이익	-	적전	적지	적지

주요투자지표				
	FY 22	FY 23	FY 24	FY 25
주당지표 (USD)				
EPS	0.1	-0.5	-0.7	-0.7
BPS	7.7	-0.5	1.8	9.2
CFPS	0.0	-0.2	-0.4	-0.6
DPS	0.0	0.0	0.0	0.0
Valuation(배)				
PER	163.0	-	-	-
PBR	1.3	-	11.7	7.8
PCR	-	-	-	-
EV/EBITDA	-	-	-	-
Key Financial Ratio(%)				
ROE	0.8	-	-	-12.2
EBITDA0이익률	-	-	-	-
부채비율	4.0	-143.3	12.3	3.5
순부채비율	2.8	-	-109.3	-95.6
매출채권회전율(x)	-	-	0.0	0.0
재고자산회전율(x)	-	-	-	-

Compliance notice

당 보고서 공표일 기준으로 해당 기업과 관련하여,

- 회사는 해당 종목을 1%이상 보유하고 있지 않습니다.
- 금융투자분석사와 그 배우자는 해당 기업의 주식을 보유하고 있지 않습니다.
- 당 보고서는 기관투자자 및 제 3자에게 E-mail등을 통하여 사전에 배포된 사실이 없습니다.
- 회사는 6개월간 해당 기업의 유가증권 발행과 관련 주관사로 참여하지 않았습니다.
- 당 보고서에 게재된 내용들은 본인의 의견을 정확하게 반영하고 있으며, 외부의 부당한 압력이나 간섭 없이 작성되었음을 확인합니다.

본 분석자료는 투자자의 증권투자를 돕기 위한 참고자료이며, 따라서, 본 자료에 의한 투자자의 투자결과에 대해 어떠한 목적의 증빙자료로도 사용될 수 없으며, 어떠한 경우에도 작성자 및 당사의 허가 없이 전재, 복사 또는 대여될 수 없습니다. 무단전재 등으로 인한 분쟁발생시 법적 책임이 있음을 주지하시기 바랍니다.

[투자의견]

종목추천 투자등급	산업추천 투자등급
종목투자자의견은 향후 12개월간 추천일 증가대비 해당종목의 예상 목표수익률을 의미함.	시가총액기준 산업별 시장비중대비 보유비중의 변화를 추천하는 것임
· Buy(매수): 추천일 증가대비 +15%이상	· Overweight(비중확대)
· Hold(보유): 추천일 증가대비 -15% ~ 15% 내외 등락	· Neutral (중립)
· Sell(매도): 추천일 증가대비 -15%이상	· Underweight (비중축소)

[투자등급 비율 2026-03-31 기준]

매수	중립(보유)	매도
88.2%	11.8%	-