

MI Focus

SMR 산업 동향

Small Modular Reactor, 소형 모듈형 원자로

목 차

- 저렴한 청정에너지, 원자력
- SMR의 특징
: 더 작게, 더 안전하게, 더 다양하게
- 최근 SMR이 주목받는 이유
- SMR 시장의 미래는?

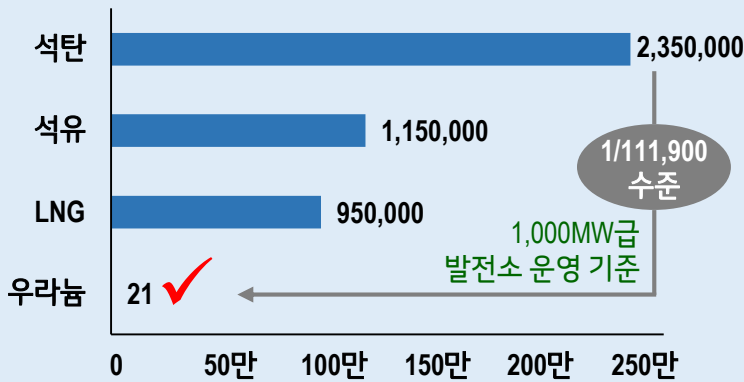
첨부자료. 주요 SMR 기업 동향

2024. 6. 4
LX MDI

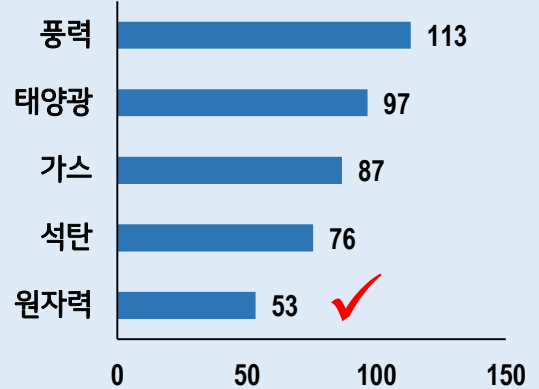
저렴한 청정에너지, 원자력

- '86년 체르노빌 원전 폭발, '11년 후쿠시마 방사능 누출 사고 등으로 인해 원자력 발전에 대한 일반 대중들의 인식은 부정적인 편이나, 사실 원자력은 경제성 / 친환경 / 연료공급 안정성 측면에서 장점을 보유한 발전원임.
- 적은 양의 연료(농축우라늄)로 전력 생산이 가능해 현존하는 발전원 중 가장 경제적인.

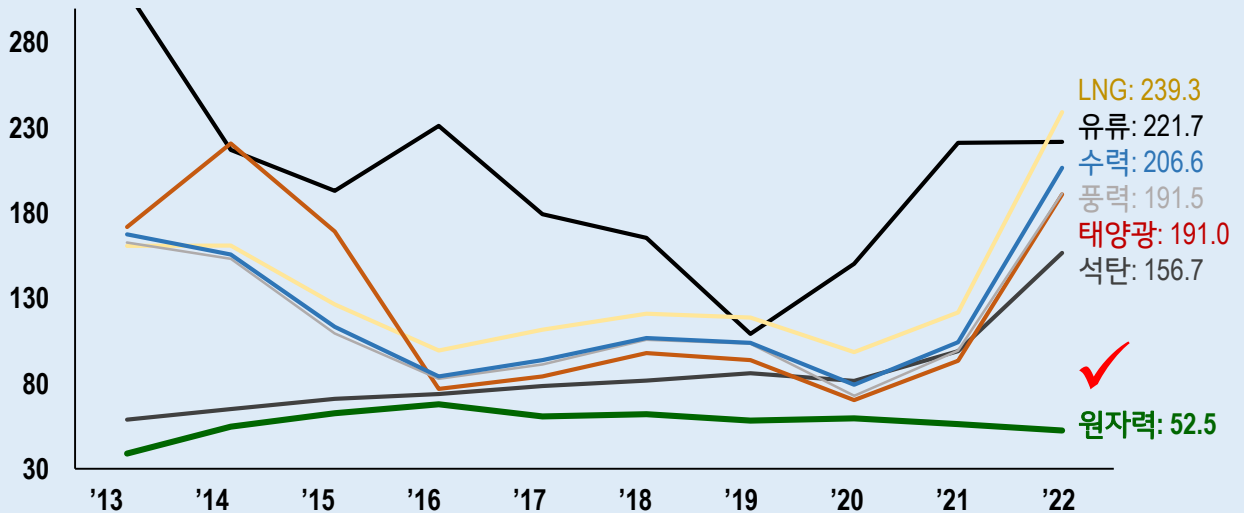
[발전 연료 소모량 비교(톤, 한국수력원자력)]



[국내 LCOE¹⁾ 비교(\$/kWh, 세계에너지기구)]



[국내 발전원별 단가 추이(원/kWh, 한국전력공사)]



- 이산화탄소 배출량은 풍력발전과 비슷한 수준으로 석탄 이산화탄소 배출량의 1.5%에 불과
- 발전원별 이산화탄소 배출량 순위: **석탄 820**(gCO₂/kWh), LNG 490, 태양광 41, 수력 24, **원자력 12**, 풍력 11
- 최근에는 세계 각국에서 원자력을 친환경 에너지 범주에 포함시키며, 산업을 적극적으로 육성하고 있음.
- '21년 미국 에너지부는 원자력을 무탄소 발전원으로 정의하고 기존 원전 운영 연장, SMR 산업 육성 추진
- '22년 유럽/한국은 원자력을 '친환경 산업' 범주에 포함시키고 세제 혜택 지원 등 투자 환경을 조성 중

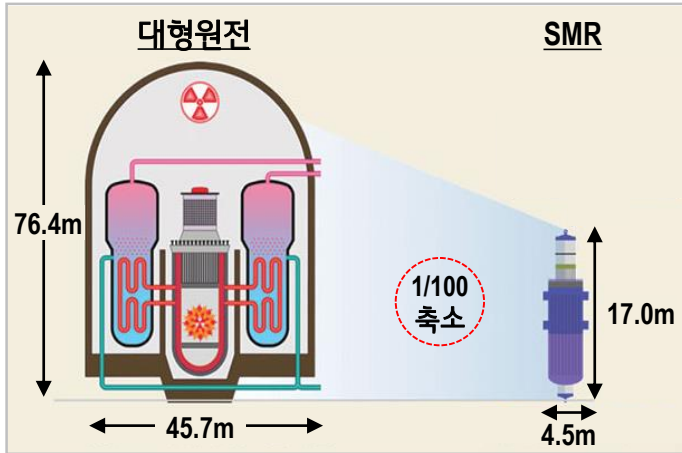
¹⁾ Levelized Cost of Electricity(균등화발전단가): 건설, 설비, 운영, 연료 등 발전소 관련 직접비용과 온실가스 배출, 경관/소음보상, 방사능처리 등 외부비용을 모두 고려한 단가 개념. 일반적으로 재생에너지의 원가 경쟁력 판단에 활용

Small Modular Reactor, 소형 모듈형 원자로

SMR의 특징: 더 작게, 더 안전하게, 더 다양하게

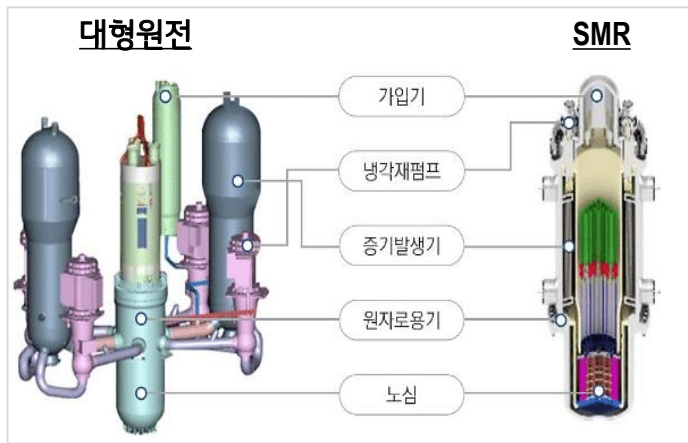
- SMR은 기존 대형 원자력발전소 보다 용량이 작고 모듈형으로 설계된 원전을 통칭함.
기존 원전 대비 건설이 용이하고, 안전하며, 다양한 용도로 사용할 수 있다는 장점이 있음.

【 더 작게 】



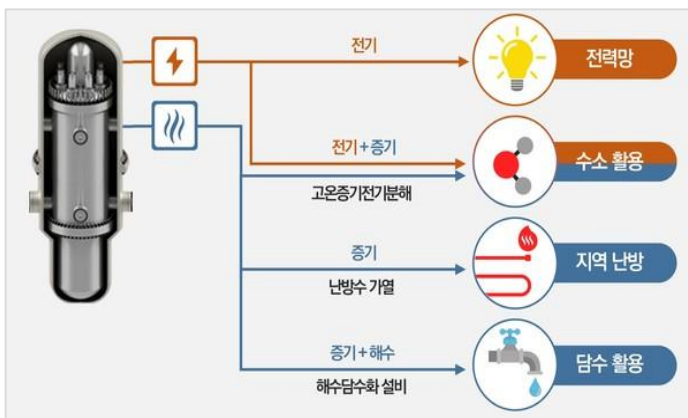
- 대형원전의 1/100 미만의 크기로 제작하여 발전소 건설에 필요한 부지도 큰 폭으로 축소
- 1MW 당 필요 부지가 기존 원전의 1/10 수준
※ 소형화에 따라 발전용량도 축소
: 기존 1,200~1,600MW 규모 → 300MW 이하
이 중 30MW 이하는 초소형원자로 (MMR, Micro Modular Reactor)로 별도 분류
- 격오지, 송전망이 부족한 지역 등 전력 공급이 원활하지 않은 지역에 설치하면 효과 高

【 더 안전하게 】



- 일체형으로 제작되어 방사능 누출 리스크 低
- 기존 원전에서는 핵심 부품을 연결하는 배관이 노출되어 파손 시 방사능 유출 가능성이 높음.
※ 비상 대피 반경: 대형원전 16km vs. SMR 300m
- 자동 안전설계 장치가 설치되어 있어 냉각재 공급이 중단되어도 외부 전력이나 조작 없이 과열 상황을 차단
- 기존 원전에서는 정전 시 냉각재 공급 차질로 핵연료가 과열되고, 최악의 경우 멜트다운 (핵연료 구조물이 녹아내리는 사고) 가능성 존재

【 더 다양하게 】



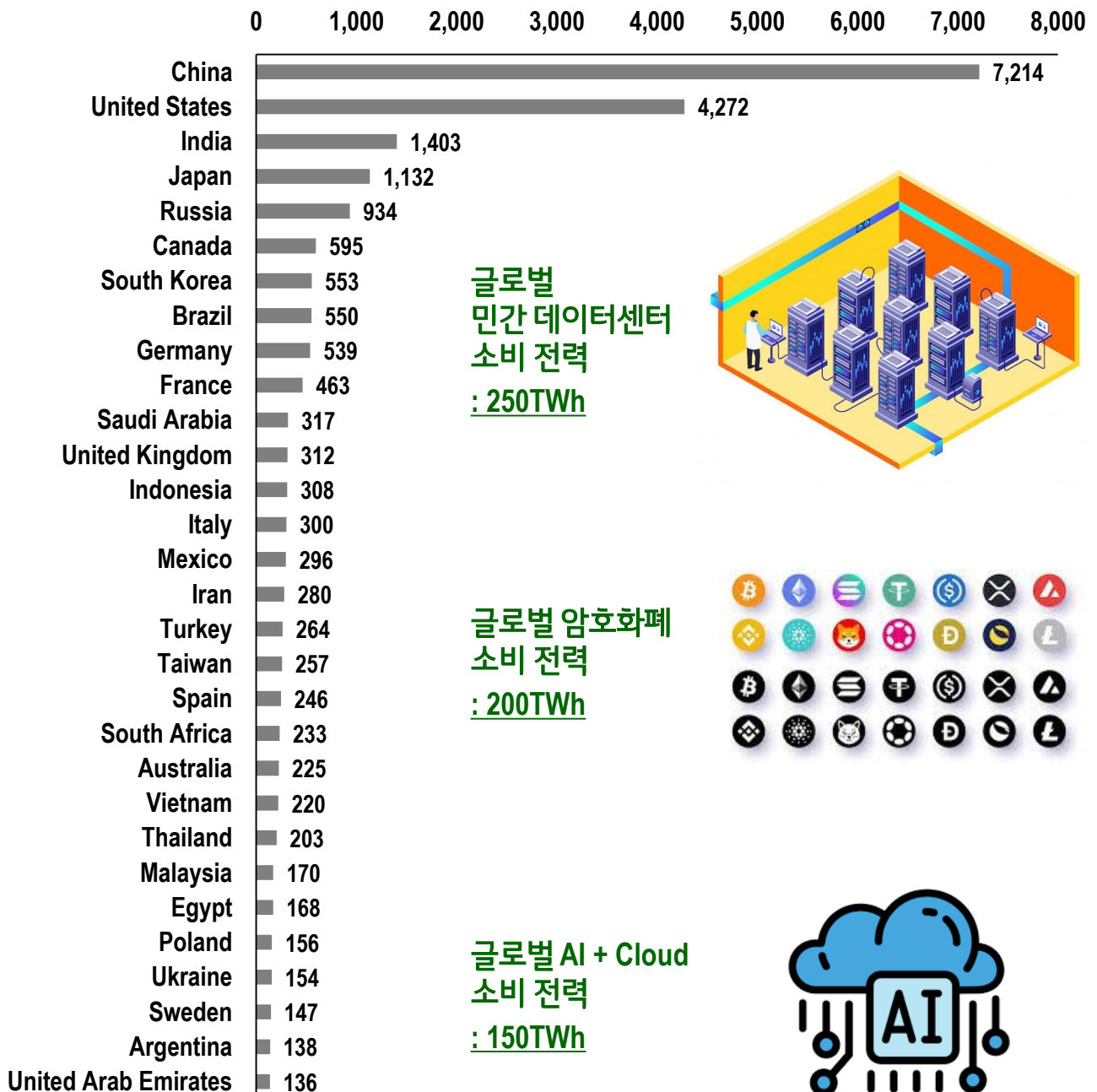
- 대형원전과 달리 도심 인근에 건설할 수 있어 전력 공급 용도 이외에도 다양하게 활용 가능
- 전력과 증기를 활용하여 그린수소를 생산
“저온(100°C 이하)/고온(600°C 이상) 수전해 공정”을 활용
- 열을 지역난방 용으로 공급하거나, 화석연료 대체가 필요한 철강/석유화학 업계 등에 공급
- 열을 해수담수화 과정 내 해수 증발용으로 사용
증발된 수증기를 재생축하여 담수 확보(“다단증발법”)

※ 원자력발전 과정: 핵분열 → 열 생성 → 물을 가열 → 증기 생성 → 터빈 작동 → 전기 생산

최근 SMR이 주목받는 이유

- '00년대 중반부터 전 세계적으로 기후변화에 대한 논의가 활발해지면서 '탄소배출 저감'이 큰 화두가 되었고, SMR은 태양광, 풍력 등 신재생에너지와 함께 화석연료를 대체할 수 있는 친환경 에너지원으로 주목받기 시작
 - '06년 빌게이츠가 소형원자로 생산기업 TerraPower를 설립하면서 SMR의 개념이 대중에게 널리 알려짐.
 - 이후 NuScale Power, X-energy, Terrestrial Energy 등 관련 기업들이 속속 등장하면서 시장을 형성
- 최근에는 AI, 데이터센터, 암호화폐 등 에너지 다소비 산업이 급격하게 성장하면서 '안정적인 전력원'이 필요하게 되었고 『연료 공급의 안정성』과 『친환경성』을 함께 갖춘 SMR이 급부상
 - AI, 데이터센터 등의 전력 소비량은 한 국가의 연간 전력 소비량에 맞먹는 수준

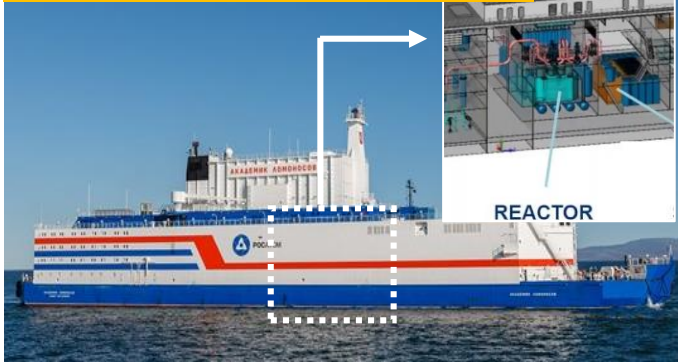
[글로벌 Top 30개국 전력 사용량 ('22년, TWh, 세계에너지기구)]



SMR 시장의 미래는?

- SMR 시장은 성장 초입 단계로 러시아·중국을 제외하고는 아직 상용화된 사례가 없는 시장이며, 향후 SMR 시장이 성장하기 위해서는 국제 공통 표준 수립과 원가 경쟁력 확보 등이 선결되어야 함.
 - 러시아: SMR의 원료인 HALEU¹⁾를 판매하는 유일한 국가이며 SMR을 가장 먼저 상용화
 - '20.5월 동시베리아 페베크항에 해상부유식 SMR(Akademik Lomonosov)을 배치하고 전력 공급 중
 - 중국: 국가 차원에서 SMR 등 원자력발전소를 확대 중(현재 건설 중인 전세계 원전의 절반이 중국에 소재)
 - '24.5월 하이난성에 세계 최초의 육상용 SMR(링룽1호) 시험가동을 실시했으며 '26년 정식 가동 예정

러시아 해상부유식 SMR(Akademik Lomonosov)



중국 SMR(링룽1호)의 핵심모듈 설치 장면



- 미국: 민간 기업 중심으로(참고자료 참조) 상용화를 추진 중이나, 최소 4~5년 예상
 - 대표 기업 NuScale Power는 발전단가 상승으로 유타주 전력 공급사업 프로젝트 추진 중단('23.11월), SMR 전력요금(\$/MWh): '16년 55 → '23년 89(정부 보조금 제외 시 119)
 - 비용절감을 위해 인력의 1/3을 정리하고('24.1월) 하는 등 부침을 겪고 있음.
- 한국: '97년부터 중소형원자로를 개발, '12년 원자력안전위원회로부터 표준설계인가²⁾를 획득(세계 최초)
 - 최근 정부가 발표한 11차 전력수급기본계획에 SMR 1기(700MW 급)가 포함되면서 추진 본격화
 - '35년까지 완공 및 운영 개시, 이후 2년간 상용화 실증 추진

Writer's Notes

앞으로 인류가 지구에서 생존하기 위해서는 많은 과제를 동시 다발적으로 해결해야 합니다.

기후변화를 늦추고 자연환경을 되살리기 위해 탄소배출을 절감해야 하고,

탄소를 많이 뿜어 내는 화석연료를 대체할 수 있는 친환경 연료도 찾아야 합니다.

동시에 기술발전은 계속 되어야 하고 폭발적으로 증가하는 전력 수요에도 대응해야 합니다.

SMR이 이를 모두 충족하기에 적합해 보이나, 본격적인 산업의 개화는 아직 시간이 더 필요할 듯 합니다.

하지만 전력 수요의 폭증이라는 Mega Trend 측면에서 시장이 다시금 SMR을 바라보고 있는 만큼 우리도 지속적으로 관찰하며 연관 사업 기회를 모색해야 할 시점으로 보여집니다.

¹⁾ HALEU(High-Assay Low-Enriched Uranium, 고농축우라늄): 우라늄 농도가 20% 수준으로 일반 대형 원전용 농축우라늄의 4배에 달함. 현재 러시아의 원자력기업 Rosatom의 자회사 Tenex가 유일한 판매 기업임.

²⁾ 동일한 설계의 원전을 반복적으로 건설하고자 할 경우 인허가 기관이 원자로 및 관계 시설의 표준설계에 대해 종합적인 안전성을 심사해서 인허가를 주는 제도

첨부자료. 주요 SMR 기업 동향

▪ 기존 원자력 발전 관련 분야 기업이 아닌 'SMR 기술 개발'에 집중하는 기업들로 모두 미국에 소재하고 있음.

기업명 (본사 소재지)	개요	최근 동향
 NuScale Power (미국 오레곤주)	• '07년 설립 / '22.5월 상장 • '23년 실적 및 재무현황 - 매출 2,281만 달러 - R&D 비용 1.5억 달러 - 영업손실 2.7억 달러 - 자산 2.2억 달러	• 유타주에서 추진하던 CFPP(Carbon Free Power Project) 사업은 목표 전력 생산비용 상승으로 사업 중단('23.11월) • 인력의 1/3을 해고하는 등 사업성 개선 계획 발표('24.1월) ※ Iceberg Research의 NuScale 구매도보고서 발간('24.5월) · 공식기관의 인증을 받은 최초·유일한 SMR 설계라는 NuScale의 주장은 과거 모델의 설계에 해당하며, 현재 상용화를 추진 중인 모델은 승인은 받지 못했음을 지적
※ 주요 한국기업 투자 현황 두산에너지빌리티: '19년 4,400만 달러, '21년 6,000만 달러 투자 GS에너지: '21년 4,000만 달러 투자 / 삼성물산 건설부문: '21년 2,000만 달러, '22년 5,000만 달러 투자		
 TerraPower (미국 워싱턴주)	• '06년 설립 / 비상장 • 빌게이츠가 설립 및 투자 (현재 회장직 역임 중) • 무케시 암바니(인도 릴라이언스 그룹 회장), SK그룹 등이 주요 투자자임.	• HD한국조선해양과 FNPP(Floating Nuclear Power Plant) 관련 기술 개발을 위한 협력 발표('24.2월) • 미국 와이오밍주에 미국 첫 SMR 건설을 추진('24.3월) · '24.6월 착공 예정이며 '30년 완공 및 가동 예정 · '25년에 폐쇄되는 인근 석탄화력발전소 대체 목적 · 정부 지원금 최대 20억 달러 확정
(주)SK & SK이노베이션: '22년 2억 5,000만 달러 투자 / HD한국조선해양: '22년 3,000만 달러 투자		
 Oklo Inc. (미국 캘리포니아주)	• '13년 설립 / '24.5월 상장 • 샘알트만이 주요 투자자 • 자연 상태에서 핵분열 반응이 일어났던 아프리카 가봉 소재 우라늄 광산지역에서 기업 이름을 따옴.	• 알래스카 美 공군기지에 1억 달러규모의 SMR을 설치하기로 잠정 계약했으나 국방부가 일방적으로 해지('23.9월) • 미국 Equinix社의 데이터센터, 미국 Diamondback Energy Inc. 등과 장기 전력공급계약 체결을 추진 중('24.4월) • 미국 Atomic Alchemy와 산업용/의료용 방사성 동위원소 생산 협력을 위한 MOU 체결('24.5월)
 X-energy (미국 매릴랜드주)	• '09년 설립 / 비상장 • 이란계 미국인 카말 캄가파리안이 설립 (항공우주기업 Axiom Space을 포함 총 5개의 기업을 공동 창업한 바 있음.)	• SPAC 회사와의 합병 계약을 해지하고 상장 취소('23.11월) - NuScale의 CFPP 사업 중단으로 인한 투자 심리 악화 • 캐나다 알버타주 화석연료발전소 부지에 자사의 SMR (80MW급)을 설치하는 프로젝트 타당성 연구 추진('24.4월) • 영국 정부가 조성한 미래원자력활성화기금으로부터 58억원의 지원금 확보('24.4월)
DL이앤씨 & 두산에너지빌리티: '23년 각각 2,000만 달러, 500만 달러 투자		
 Kairos Power (미국 캘리포니아주)	• '16년 설립 / 비상장 • 원자력공학과 교수 3명이 공동 창업	• 미국 원자력규제위원회로부터 SMR(35MW급, '26년 완공) 건설 승인 및 미국 에너지부의 3억 3,300만 달러 규모의 지원금 확보('24.2월)

【 주요 출처 】

(2024, Jan). 미래 에너지 시장의 올라운더(All-rounder)를 꿈꾸는 SMR. *삼정KPMG*

한국원자력연구원 글로벌전략실. (2023, Dec. 28). NRC의 SMR/선진원자로 인허가 현황. *한국원자력연구원*

이지훈. (2022, Nov). 소형모듈형원전(SMR) 글로벌 산업 동향. *KDB산업은행*

임지환, 이광석. (2024, Jan. 4). 미국 SMR 산업 동향과 전망. *한국원자력연구원*

문주형 외 6명. (2014, Jan. 23). 원자로의 피동안전계통. *대한민국특허청*

<https://patents.google.com/patent/KR20140009835A/ko>

(2024, Apr.19). 세계원전시장 인사이트. *에너지경제연구원*.

(2024, Jan). Electricity 2024 - Analysis and forecast to 2026. *IEA*

(2022, Dec.12). How Much Energy does AI Use? Total Grid Compute Power & Total Energy Resources on Planet Earth 2023. *Gregoreite.com*. <https://gregoreite.com/total-grid-power-how-much-energy-does-ai-use-2022/>

Ed Crooks. (2023, Nov.13). A major setback for nuclear power - The decision to cancel the first small modular reactor planned in the US is a blow to hopes of a new era for nuclear. *Wood Mackenzie*.

<https://www.woodmac.com/news/opinion/major-setback-for-nuclear-power/>

(2023, Dec.13). High-Assay Low-Enriched Uranium (HALEU). *World Nuclear Association*. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/high-assay-low-enriched-uranium-haleu>

Patrick White, Erik Cothron. (2023, Dec). Characterizing an Emerging Market for High-Assay, Low-Enriched Uranium Production: HALEU Production Cost Analysis and Market Program Evaluation. *Nuclear Innovation Alliance*.

(2022). Electricity domestic consumption. *Enerdata*.

(2023, Jun). Nuclear Power Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2023-2032. *Precedence Research*. <https://www.precedenceresearch.com/nuclear-power-market>

(2023, Oct.31). X-energy and Ares Acquisition Corporation Mutually Agree to Terminate Business Combination Agreement. *Businesswire*. <https://www.businesswire.com/news/home/20231030099212/en/>