

글로벌 원전 패권전쟁 Phase2

SMR, 정체가 뭐니? (기술개발 및 경제성 현황)

Research Center I 2024.11.19

허민호 minho.hur@daishin.com

서영재 youngjae.seo@daishin.com

박장욱 jangwook.park@daishin.com



Contents

I.	SMR의 기술 개발 현황	05
II.	글로벌 SMR 시장규모	23
III.	미국 정부의 SMR 지원 법안	29
IV.	SMR의 경제성	37
V.	국내 SMR 개발 및 글로벌 제조 경쟁력	47
VI.	투자전략	51
VII.	기업 분석	55

Intro & Summary

- 글로벌로 에너지 안보, AI의 전력 수요 증가 대응, 재생에너지 확대에 따른 시스템통합 비용 상승 등에 대한 대안으로, 원자력의 가치가 재조명되고 있음. 2050년까지 현재 규모 대비 최소 3배 증설(400GW에서 1,200GW)이 필요한 상황임. 이 중 SMR은 2050년까지 400GW 이상 설치될 전망이다
- 최근 글로벌 SMR 기술 개발 경쟁은 3.5세대 기술을 넘어 4세대 기술 개발로 번지고 있음. 4세대 SMR은 비수냉식 기반으로 안전성 및 효율성, 경제성 향상, 다목적성(고온의 공정열 및 수소 생산, 해양/선박용으로 사용 등), 사용후핵연료 축소 및 재사용 등을 보다 강화시킨 원자로임. 대표적인 3.5세대 기술업체는 NuScale 이며, 4세대 SMR 기술(설계업체)로는 (초)고온가스냉각로(X-Energy), 불화염냉각 고온로(Kairos Power), 소듐냉각 고속로(Terra Power-GEH), 납냉각 고속로(EU-SMR-LFR), 용융염 원자로(Terrestrial Energy) 등이 있음
- 미국 에너지청은 2050년까지 신규 원전 200GW 이상, 최대 455GW 건설을 목표로 하고 있는데, 이 중 기존 석탄부지를 활용한 SMR 설치 가능규모는 120 ~ 170GW인 것으로 추정되는 등 미국이 SMR 개발 및 상용화를 선도하고 있음. 원자력 산업은 그 본연의 위험성으로 인해 에너지 산업이면서 방위산업임과 동시에 규제산업임. 미국은 SMR의 개발(ARDP) 및 상용화(생산/투자세액공제, 투자금액 대출), 핵연료 국산화(러시아 우라늄 수입 규제, HALEU Availability Program 등), 수출금융 지원 이외에도 규제 완화 정책까지 펼치며 빠른 속도로 SMR을 통한 원자력 기술 리더십 회복을 위해 강력한 의지를 보고 있음
- 추가적인 비용 상승이 없을 경우, 첫 상용 SMR의 ITC 적용 LCOE 92 ~ 109달러/MWh로 예상됨. SMR은 기존 원전 및 석탄발전 부지에 SMR 설치를 통해 전력망 비용이 적음, SMR PPA 지역 상업용 전기요금 등을 감안 시 경제성 확보 가능함. 또한 대규모 전력망 비용이 필요한 해상풍력(ITC 적용 LCOE는 SMR과 유사) 대비 경제적으로 유리할 수 있음
- 2029/30년 SMR의 상용화를 증명하기 시간이 많이 남았지만, 2024년 7월 ADVANCE Act(SMR 설치 확대를 위한 전방위 포괄적 지원 프로그램 및 규제 완화 법안) 통과 이후 빅테크의 전력공급계약이 체결이 늘어나고 있음. 향후 기자재 발주 및 건설허가 등도 빠른 속도로 진행될 전망이다. 관련 회사들의 주가도 미래 실적 성장을 반영하여 상승 중임. 밸류체인의 경쟁력 확보가 가능한 기업을 중심으로 투자의 기회를 놓치지 않을 필요가 있음
- 1Q24 기준 글로벌 SMR 프로젝트 계획 설비용량은 총 22GW, 이 중 미국은 빅테크의 장기 전력공급계약 등에 힘입어 6 ~ 7GW 설치할 계획임. 2032년까지 SMR 준공에 성공해야 ITC 30 ~ 50% 받을 수 있음. 이를 위해 미국 SMR 프로젝트는 대부분 2026/2027년 착공, 2029/2030년 준공을 목표로 있으며 공기를 맞추기 위한 선제작이 이루어 질 전망. 이를 감안하면, 2H25부터 SMR 주기기 발주 본격화 예상
- 한국은 대형 원전의 개발 및 건설 경쟁력은 글로벌 선두그룹에 있음은 입증되었음. 다만, SMR은 정책 지원, 기술 개발 속도, FOAK 건설 시기 및 시장규모 등이 미국 대비 뒤쳐져 있는 것은 사실임. 그러나 2025년부터 K-원전의 해외 원전 수주 확대와 함께 글로벌 SMR 제조 경쟁력 부각 예상
- Top picks로 [한국] 두산에너지빌리티(글로벌 SMR 제조사), [미국] 뉴스케일 파워(가장 상업화 속도가 빠른 3.5세대 SMR Fabless), 센트러스 에너지(미국 핵연료 중계 및 제조사)를 제시

I. SMR의 기술 개발 현황

I. SMR의 기술 개발 현황

SMR(Small Modular Reactor; 20 ~ 300MW의 모듈화된 원자로)의 경쟁력 6가지

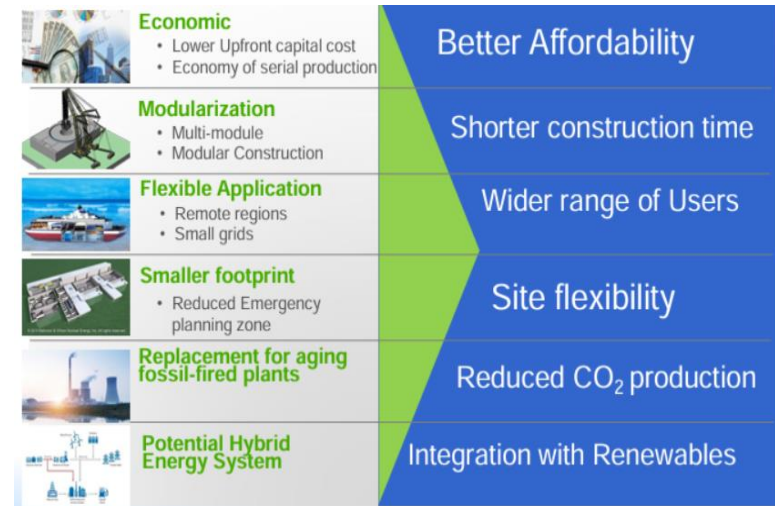
- 고유안전성 향상: 피동형(자연순환, 공기냉각 등) 시스템, 주1) '결함 허용 설계', 주2) '화학적 안정성' 확대 등을 통해 노심손상률(CDF) 하락
- 모듈화(설계 단순화): 공장 내 제작 최대화, 육상운송 등을 통한 건설공기 단축 및 대량생산, 유지/보수 비용 절감
- 다목적 이용: 공정열/지역난방, 담수/광산, 수소/합성가스, 고준위 방사성 폐기물 축소/재사용, 해양/선박 등 전력 이외 수요 창출
- 전력망 적합성 향상: 마이크로그리드, 재생에너지 부하추종, 설치부지 제약 극복(비해안가, 해양 건설 가능)
- 경제성 향상: 설계 단순화, 핵연료 효율 향상, 다목적 이용(Sector Coupling), 전력망 및 비상계획구역(EPZ) 축소 등 경제성 증대
- 낮은 파이낸싱 위험: 소규모 설비용량에 따른 적은 투자비로 초기 재원조달 경감, 모듈화로 건설공기 지연 리스크 저감

SMR의 성장 요인



주1: '결함 허용 설계'는 특정 구성요소가 고장이 나더라도 다른 경로를 통해 열을 제거
 주2: '화학적 안정성'은 더 안전한 화학적 속성을 가진 연료를 사용하여 고온, 방사능 환경에서 화학적으로 안정화됨
 자료: IAEA, 대신증권 Research Center

SMR의 기대 효과



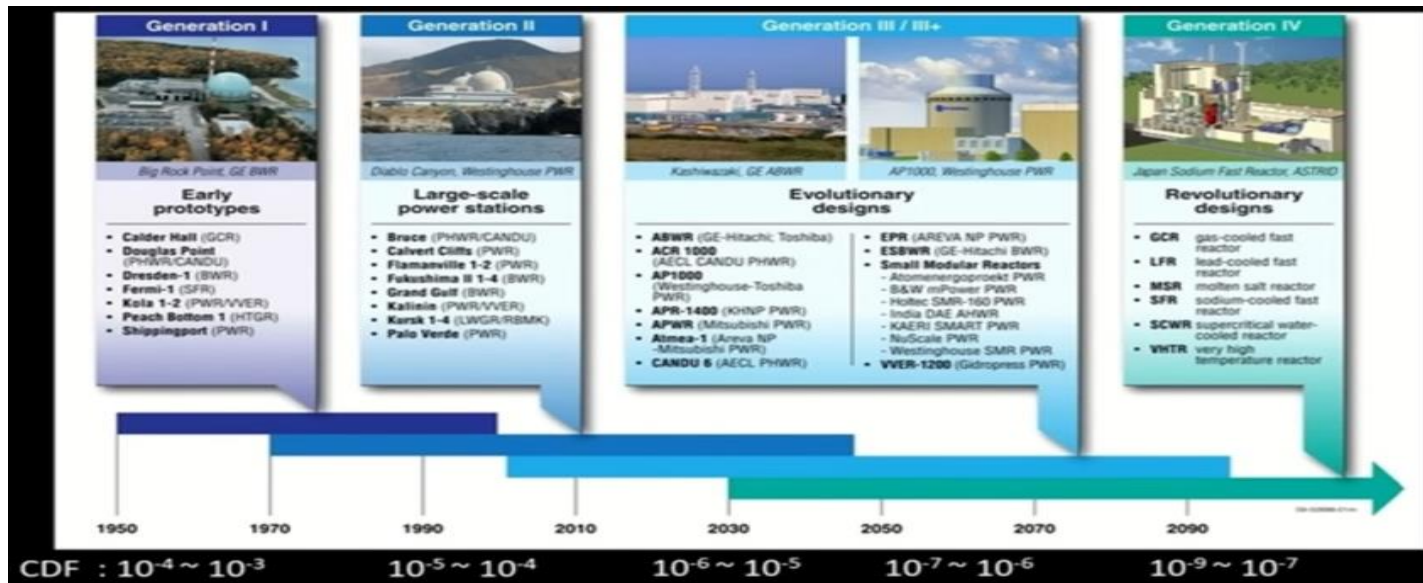
자료: IAEA, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

세대별 원자력 기술 변화: 안전성 강화 및 경제성 향상의 역사

- 3.5세대 대형 원자로: 가압경수로(PWR; Pressurized Water Reactor)
- 3.5세대 SMR: 대형 PWR을 소형화 및 모듈화, 안전성 강화, 크기는 최대 1/100 까지, 노심손상빈도(CDF) $10^{-7} \sim 10^{-6}$ 로 축소
- 4세대 SMR: 비수냉식의 가장 큰 특징. (초)고온가스냉각로(HTGR/VHTGR), 소듐/납냉각 고속증식로(SFR/LFR), 용융염 원자로(MSR) 등
3.5세대 SMR 대비 안전성 강화 및 경제성 향상. 노심손상빈도 $10^{-9} \sim 10^{-7}$ (3.5세대 대비 1,000배)로 축소

세대별 원자력 기술 및 안전성 변화



주: CDF(Core Damage Frequency; 노심손상빈도): 심각한 노심 손상 / 노심 수명(Reactor Year), 노심 수명 동안 심각한 사고가 발생한 확률

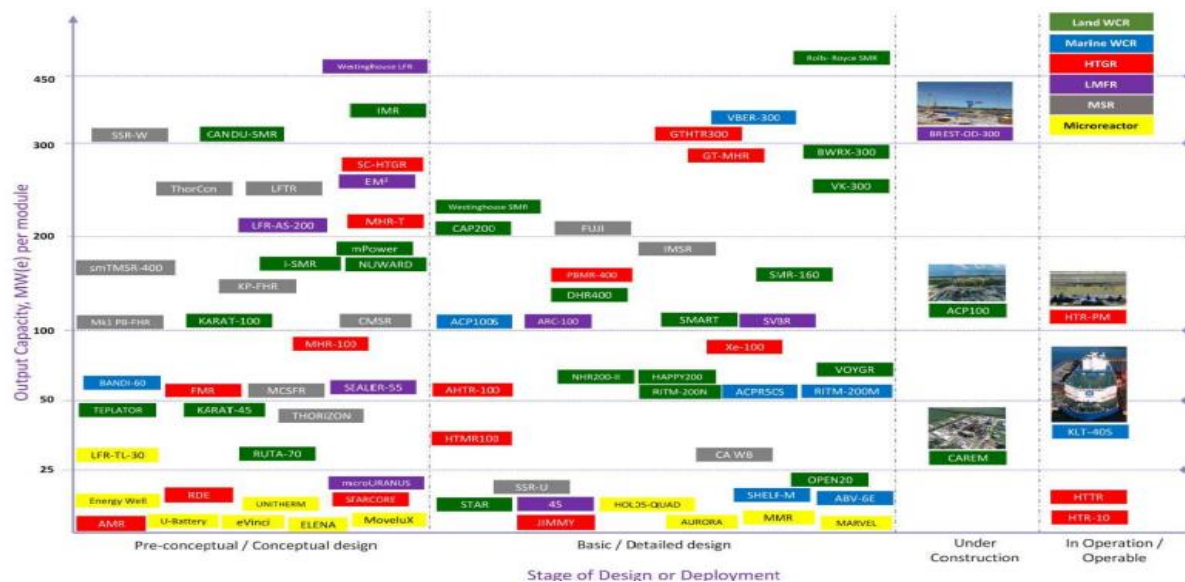
자료: 한국원자력연구원, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

글로벌 SMR 운영 및 건설, 설계 및 인허가 현황: 60(운영/건설/설계 인허가 중) ~ 100(개념설계 중)개의 노형 존재

- 운영중: 중국 HTR-10(시험로), HTR-PM(고온가스로, 상업가동 2022.12), 일본 HTTR(초고온 시험연구로, 수소생산 실증), KLT-405(선박용 가압 경수로, 2019), RITM-200(쇄빙선용 가압경수로)
- 건설중: 중국 ACP-100(가압경수로, 2026년), 러시아 BREST-OD-300(납냉각고속로, 2026년), 아르헨티나 CAREM-25(가압경수로)
- 설계승인/건설허가 신청: 러시아 RITM-200N(육상 발전용 가압경수로), 영국 Rolls-Royce SMR(가압경수로), 미국/일본(GEH) BWRX-300(가압 경수로), 미국 VOYGR(가압경수로), Xe-100(고온가스로), Natrium(Terra Power, 소듐냉각고속로), KP-FHR(Karios Power, 불화염냉각 고온 로), Aurora(Oklo, 소듐냉각고속로), 캐나다 ARC-100(ARC CT, 소듐냉각고속로) 등 다수의 업체

SMR 설계 및 건설, 운영 현황 (2022년 기준)



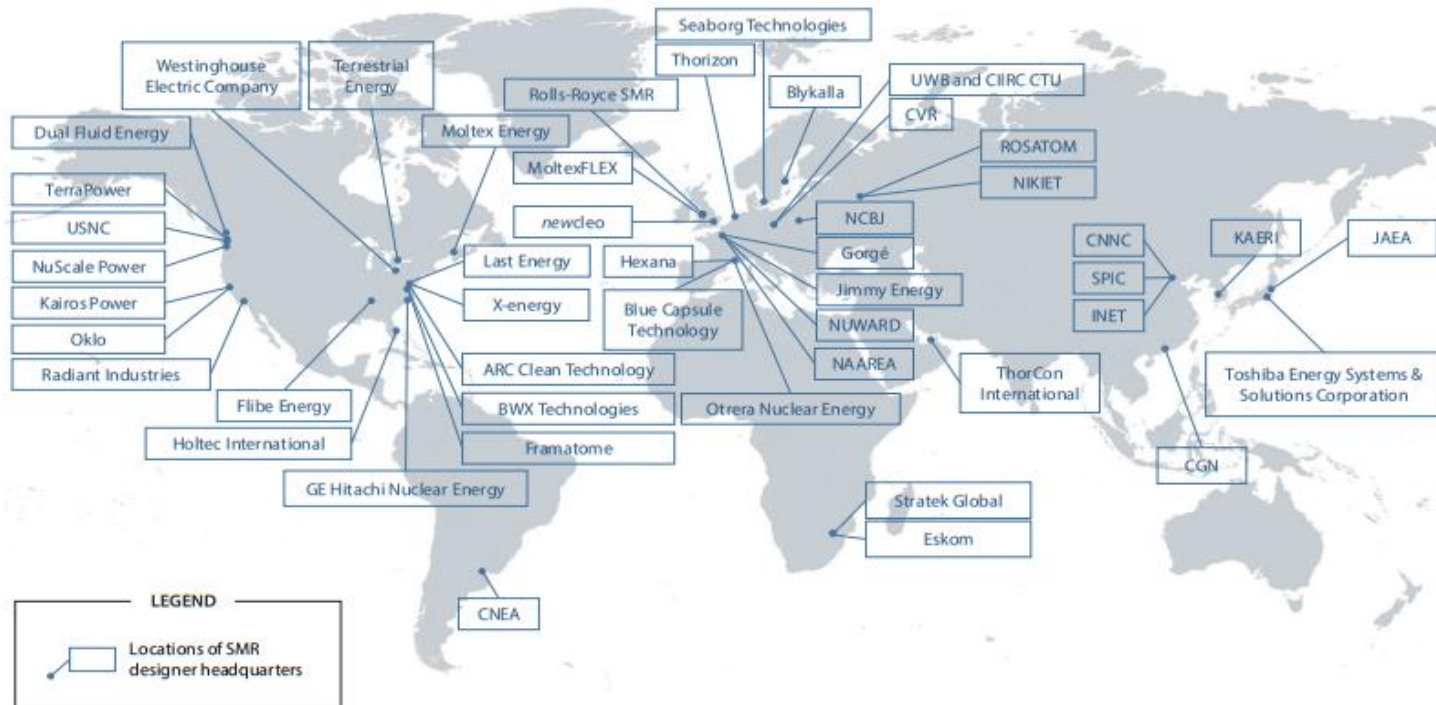
자료: NEA(2023), 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

미국은 대형 원전이 아닌 SMR을 통해 원자력 기술 리더십 회복 계획

- 2023년 7월 NEA의 SMR Dashboard에서 구체적으로 파악된 '운영 및 건설, 개발(설계 승인 및 신청) 중인 SMR'은 56개 노형
- 북미 18개(미국 15개 등), 유럽 16개(프랑스 7개 등), 일본 2개, 한국 1개 vs. 중국 4개, 러시아 2개

글로벌 지역별 SMR 개발 현황 (2023년 7월 기준)



I. SMR의 기술 개발 현황

SMR의 세대별 기술 특성 목표: 안전성 강화, 효율 및 경제성 개선, 다목적 이용

- 3.5세대 SMR: 대형 PWR을 소형화, 기자재 일체화, 완전피동형 기술(자연대류를 이용한 안정성 강화) 적용 등을 통한 안정성 강화
- 4세대 SMR: (초)고온가스로, 소듐/납고속증식로, 용융염 원자로, 히트펌프냉각로(주로 MMR에 이용) 등
- 4세대 SMR의 공통 특징: 비수냉식(대기압 작동, 단, HTGR 제외), 기자재 간소화(압력관 축소 또는 미사용, 자연순환/공기냉각 등), 높은 운전온도(열효율), 장주기 핵연료 교체(핵연료 효율 향상), 고온의 공정열 생산 등을 통한 안전성 및 효율 향상, 가격경쟁력 확보
- 차별화: 전력 및 공정열 생산 이외 청정수소 생산(HTGR, VHTR), 고준위 방사성 폐기물 축소/재사용(SFR, LFR), 해양/선박(MSR)

주요 기술별 SMR 관련 주요 기업 및 기술 특징

	원자로 기술	주요 기업(국가)	중성자	핵연료	감속재	냉각재	운전온도	증식
3.5세대	가압 경수로 (PWR)	NuScale(미국), Rolls Royce(영국), GEH(미국/일본), OKBM(러시아) 등	열중성자	저농축산화우라늄 (LEU)	물(경수)	물(경수)	300~330℃	없음
	(초)고온가스냉각로 (HTGR, VHTR)	X-exergy(미국), USNC(캐나다), 칭화대(중국) 등	열중성자	저순도/고순도 저농축우라늄 (LEU, HALEU) + 피복입자(TRISO)	흑연	헬륨기체	500~750℃ 700~950℃	없음
	불화염냉각 고온로 (FHR)	Kairos Power(미국) 등				불화염	600~750℃	
4세대 (비경수로)	소듐냉각 고속로 (SFR)	Tera Power(미국), GEH(미국/일본), ARC(미국), Oklo(미국), KAERI(한국), RosAtom(러시아) 등	고속중성자	고순도저농축우라늄 (HALEU)	없음	액체금속 소듐	500~550℃	우라늄238 증식 (+ 사용 후 핵연료)
	납냉각 고속로 (LFR)	RATEN(루마니아), SCK-CEN(벨기엘), ENEA(이탈리아), Ansaldo(이탈리아), NIKET(러시아), UNIST(한국) 등				액체금속 납/납비스무스	480~570℃	
	용융염 원자로 (MSR)	Terrestrial Energy(캐나다), ThorCon(미국), Seaborg(덴마크) 등	열중성자	용융염 (액체)	흑연	용융염 (불화염 염화염)	700~800℃	없음
MMR (초소형 모듈원자로)	HPR(히트파이프 원자로), MSR, HTGR 등	WEC(미국), BWXT(미국), TBD(미국), X-exergy(미국) 등	다양한 노형으로 개발 진행 중이며, 최근 가장 부각되고 있는 MMR은 히트파이프 원자로(HPR) 등임 활용분야는 군사, 우주용					

주: SMR은 20 ~ 300MW, MMR(Micro Modular Reactor)는 1 ~ 20MW

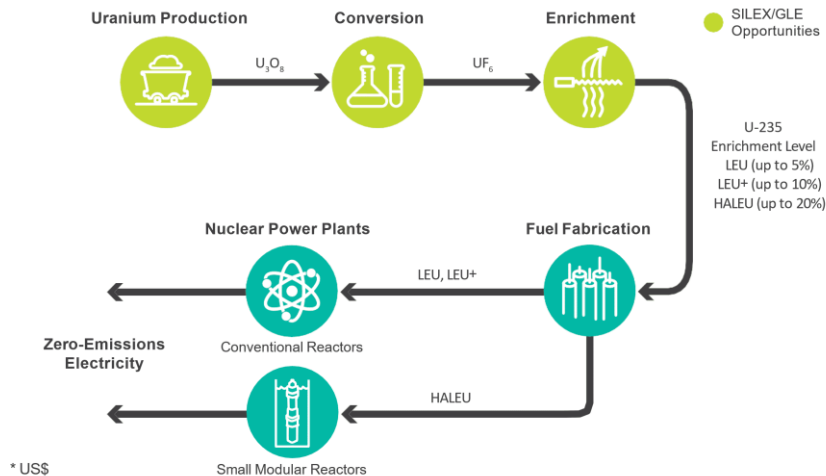
자료: 에너지경제연구원, 산업 자료, 언론보도, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

4세대 SMR 핵연료: HALEU 사용으로 에너지 소모율 향상, 장주기 핵연료 교체 등 핵연료 효율 향상

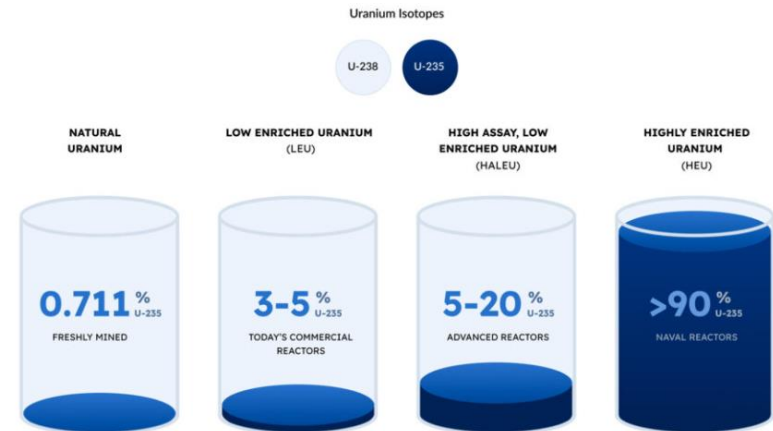
- 저순도 저농축 우라늄 LEU는 우라늄 광물을 추출한 뒤 원심분리기로 농축 하는 과정을 통해 생산
- 고순도 저농축 우라늄 HALEU의 경우 첨단 원심 분리기를 통해 LEU를 추가 농축하거나 HEU(Highly Enriched)을 다운블렌딩해 생산
- 농축도에 따라 구분: LEU 5% 이하, LEU+ 5%~10%, HALEU 5%~20%, HEU 90% 이상
- HALEU는 고온 작동, 장주기 교체, 사용후 핵연료 감소 등으로 핵연료 효율 및 경제성 향상
- 또한, 동일 에너지 생산을 위한 핵연료 필요량 감소로 다양한 크기 및 형태의 원자로 설계 가능(제한된 공간에서 높은 출력 달성 등)

우라늄 생산 과정



자료: Centrus Energy, 대신증권 Research Center

우라늄 구분



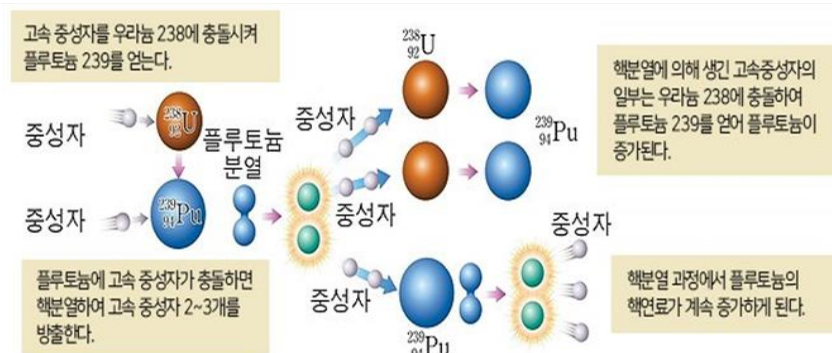
자료: Centrus Energy, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

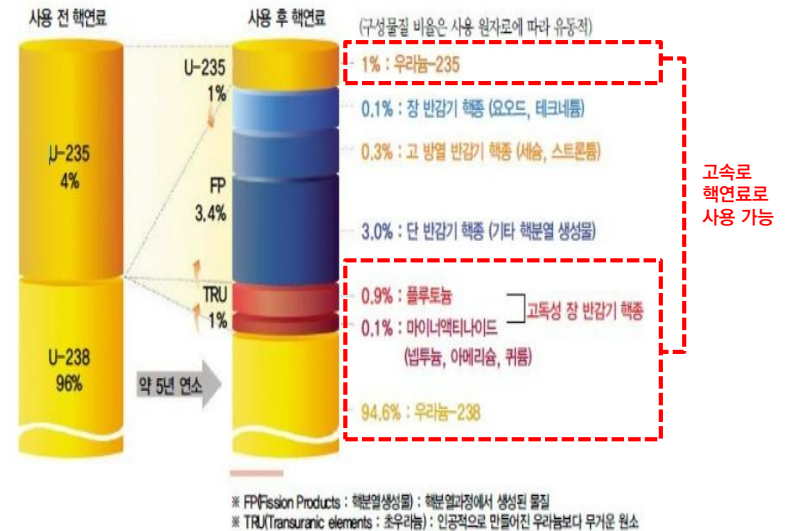
고속로(Fast Reactor): 고속중성자 + U238(비핵분열 우라늄) → P239(핵분열 플루토늄)

- 저속로: 고속중성자(에너지가 높고,빠름)에 감속재를 넣어서 열중성자(에너지가 작고 느림)로 전환
+ 열중성자를 U235에 충돌시켜 핵분열을 일으킴. 연속적인 핵분열 과정에서 에너지 발생 → 원자력의 적은 에너지만 이용
- 고속로: 고속중성자(감속재 미사용)를 U238(비핵분열 우라늄)에 충돌시켜 P239(초핵분열물질)로 변환하여 핵분열, 핵연료 효율 향상 (교체주기 장기화), 사용후핵연료 재사용 및 축소(사용후핵연료의 U238, U235 및 고독성 장반감기 핵종을 연료로 이용) 등 가능
- 사용전 LEU 핵연료는 U235 4~5%, U238 96% → 사용후 LEU 핵연료 U235 1%, U238 95%, P239 0.9%, 마이너액티드 0.1% 등으로 구성
- 핵연료: HALUE를 사용으로 장주기 운전 가능. U-235은 초기 U-238을 P-239로 변환 촉진 역할

고속로의 핵분열



LEU 핵연료 사용전/후 물질구성, 고속로 사용 가능 여부

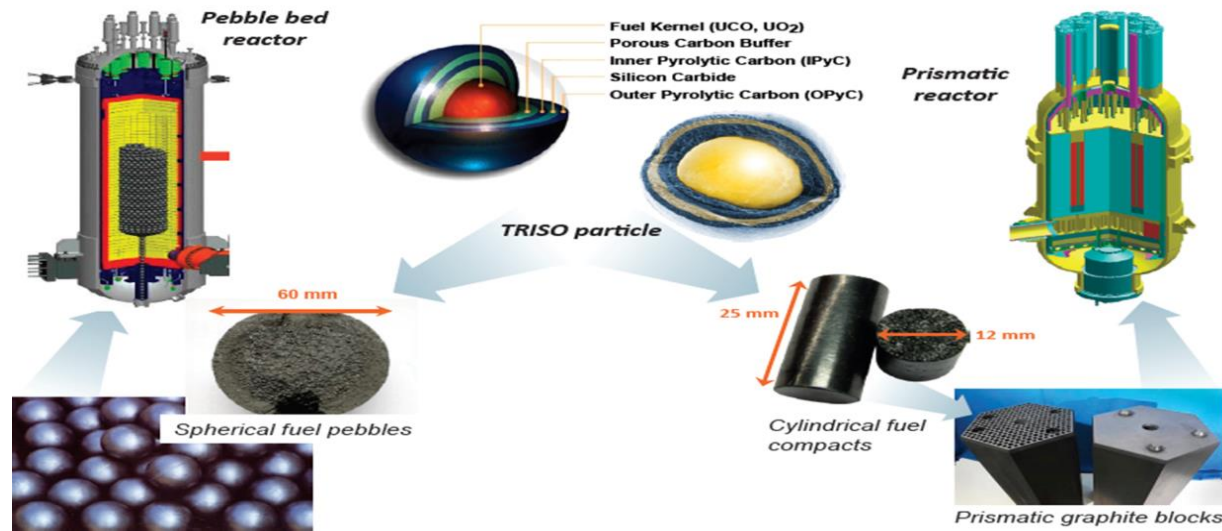


I. SMR의 기술 개발 현황

고온로(High Temperature Reactor): 고온 운전을 위해 피복입자핵연료 TRISO 이용

- 고온로: 고온(700℃ 이상) 운영을 통해 40% 이상의 높은 열효율과 핵연료 효율 향상, 고온의 공정열 생산 가능
- 기존 경수로의 핵연료는 600~700℃에서 스팀으로 변한 물과 반응하여 핵연료의 피복재 크래킹이 깨져 수소 폭발, 노심용융(Meltdown) 위험 존재, ex) 후쿠시마 원전 사고
- 고온에서 핵분열을 안전하게 발생시키기 위해 새로운 피복재 필요 → TRISO((Tri-structural ISOtropic) 개발
- TRISO: 이산화우라늄(UO_2 , UCO)에 탄소(C), 세라믹(SiC)을 피복한 핵연료 입자. 1) 1,600℃에서도 견딜 수 있어 노심용융 위험 축소. 2) 높은 구조 건전성으로 인해 핵연료의 심청처분 시 방사능 물질의 외부 누출 가능성 낮음

고온로의 피복입자핵연료 TRISO 구성물질 및 pebbles/Prismatic blocks 형태



I. SMR의 기술 개발 현황

4세대 SMR 냉각재: 원자로 고온 안정성 강화 및 열효율 향상, 각 냉각재마다 장/단점 존재

- 헬륨(기체): 초고온에서도 안정적, 비방사화(비활성화)로 사고에 안전 vs. 고온내구성의 구조재료 필요, 가압 등으로 복잡한 시스템
- 용융염(고온 액체소금): 고온에서 안정적, 방사성물질 포집으로 사고에 안전 vs. 낮은 열전달성, 부식성 등에 적합한 구조재 마련 등
- 소듐(액체금속): 고속중성자 미흡수, 고온 운전, 높은 열전도 vs. 물과 접촉 시 폭발, 유출 시 방사선 차폐 필요, 높은 유지관리비
- 납(액체금속): 낮은 고속중성자 흡수성, 고온 운전, 물과 반응성 낮음 vs. 부식 문제(납비스무스로 해결), 유출 시 방사선 차폐 필요

원자로 냉각재별 특성 비교

냉각재	경수로	고온로		액체금속냉각 고속로		
	경수 (H ₂ O)	헬륨기체 (He)	불화염 (Flibe; Li ₂ BeF ₄)	소듐 (Na)	납 (Pb)	납비스무스 합금 (Pb-Bi)
질량수	18	4	na	23	208	Pb:208, Bi:209
녹는점, °C(대기압)	0	-272	459	98	327	125
끓는점, °C(대기압)	100	-269	1,430	883	1,743	1,670
밀도, kg/m3(500°C)	968(100°C)	1.79 × 10 ⁻⁷ (0°C)	2,004	832	10,443	10,072
열전도도, W/mK(500°C)	0.677(100°C)	NA	1.0(20°C)	67.3	17.7	14.3
장점	<ul style="list-style-type: none">가장 구하기 쉬움제어 노하수가 많음	<ul style="list-style-type: none">950°C 이상의 초고온에서 안정적비활성 기체: 낮은 구조재 부식 우려, 비방사화낮은 밀도로 인해 빠른 이동, 공기냉각 가능	<ul style="list-style-type: none">고온에서 화학적 안정적높은 녹는점과 끓는점으로 상온에서 고체화(사고 발생 시 고체화)방사성 붕괴 생성물의 안정적 포집대기압 작동으로 용기 작게 가능	<ul style="list-style-type: none">고속중성자를 흡수하지 않음높은 열전도납 대비 낮은 밀도로 단순한 순환시스템	<ul style="list-style-type: none">고속중성자에 대한 흡수성 낮음중성이 소듐 대비 상대적으로 느림(핵개발 전용 우려 감소)물과 반응성 낮음. 안정적납비스무스는 부식성 억제	
단점 (기술극복 과제)	<ul style="list-style-type: none">140기압으로 가압고온 작동 불가능 (최대 340°C)고온에서 수소폭발 우려복잡한 순환시스템	<ul style="list-style-type: none">열전도성 낮음. 대용량 냉각재 순환펌프 필요. 펌프구동을 위해 발전량 8~20% 사용가압(70기압) 필요, 타 비수냉각재 대비 큰 규모의 원자로용기 필요열내구성, 열전도도가 높은 구조재 필요	<ul style="list-style-type: none">헬륨 대비 열전달성 낮음염(소금)은 강한 부식성 존재열전도도가 높고 내부식성의 구조재료 사용 필요높은 밀도로 복잡한 순환시스템	<ul style="list-style-type: none">매우 높은 화학반응성으로 인해 물과 접촉 시 폭발, 우려 존재기술극복 과제: 이중배관 등으로 소듐 누설 억제, 방사선 차폐 필요높은 유지관리비	<ul style="list-style-type: none">납은 부식성이 높으며, 생물학적으로 독성이 높음소듐 대비 낮은 열전도도높은 밀도로 복잡한 순환시스템높은 유지관리비	

자료: 서울대 원자력정책센터, IAEA, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

SMR 노형별 핵연료 유형 및 농축도, 원자로 열효율, 에너지 소모율, 교체주기

- 4세대 SMR: 열효율 40% 이상 목표, 핵연료의 에너지소모 80 ~ 200Gwd/ton, 교체주기 24 ~ 360개월(2 ~ 30년)

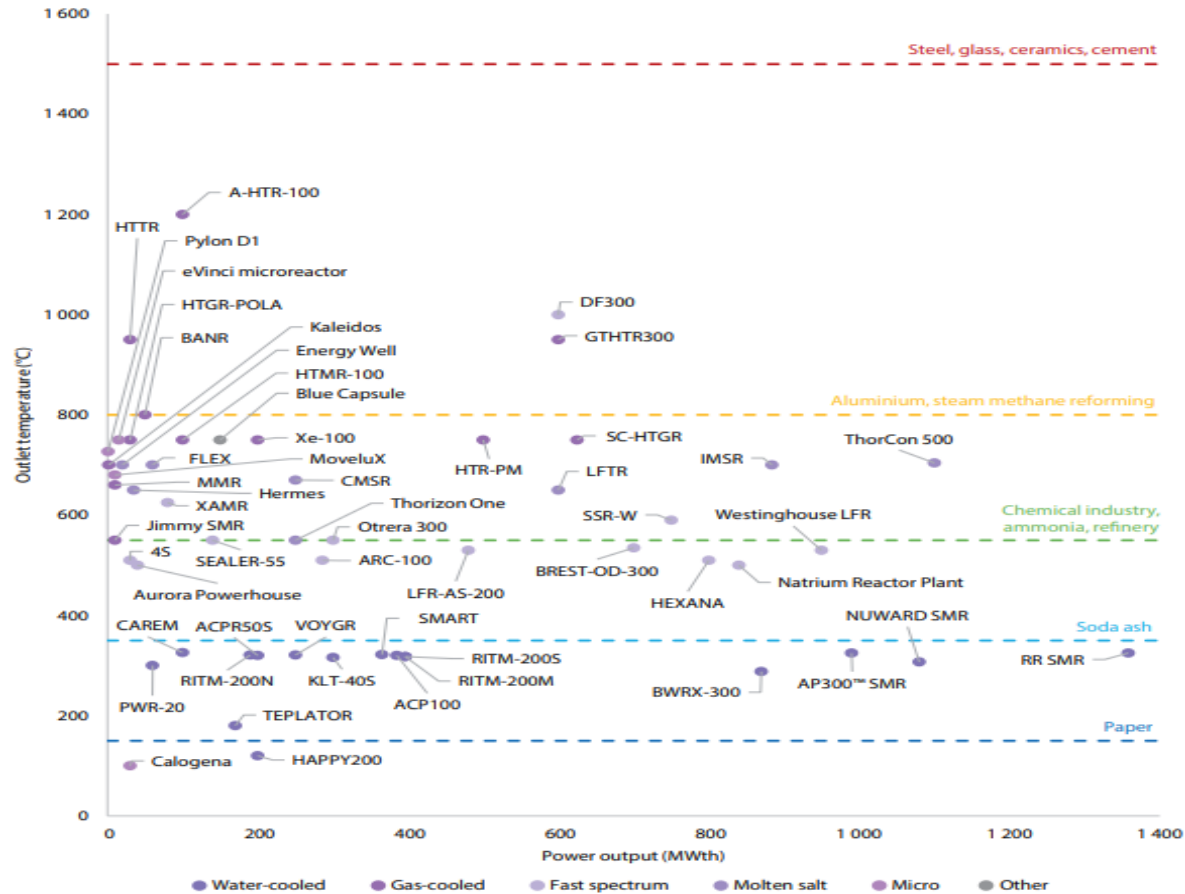
설계회사	원자로	핵연료 유형 및 집합체	핵연료 농축도(%)	원자로 열효율(%)	핵연료의 에너지 소모 (GWd/ton)	핵연료 교체 주기 (개월)
3.5세대 SMR(PWR 기반)						
NuScale	VOYGR	Uranium oxide (UO ₂) pellet/17x17 array	〈5%	30%	〉30	24
KAERI/KECOE&C	SMART	UO ₂ pellet/17x17 array		30%	〈54	30
Holtec International	SMR-160	UO ₂ pellet/square array		30%	45	24
EDF	Nuward	UO ₂ /17x17 array		31%	-	24
GEHN	BWRX-300	UO ₂ /10x10 array		32%	49.5	12-24
Rolls-Royce	UK SMR	UO ₂ /17x17 array		35%	55-60	18-24
해양/선박용 SMR (PWR 기반)						
Rosatom	KLT-40S	UO ₂ pellet in silumin matrix	18.6%	23%	45.4	30-36
Rosatom	RITM-200	UO ₂ pellet/hexagonal array	〈20%	29%	-	72-84
4세대 SMR과 MMR						
General Atomics	EM2(고온가스냉각 원자로)	Uranium carbide/hexagonal array	~14.5%	53%	130	360
Terapower	Natrium(소듐냉각 고속로)	HALEU fuel	-	-	-	-
ARC Clean Tech	ARC-100(소듐냉각 고속로)	U-Zr alloy	13.1%	35%	77	20
Oklo	Aurora(소듐냉각 고속로)_MMR	Recycled HALEU fuel (EBR-II used fuel)	-	38%	-	240
Westinghouse	eVinci(소듐히트파이프 원자로)_MMR	HALEU fuel	5 - 19.75%	29%	-	〉36
Westinghouse	Westinghouse LFR(납냉각 고속로)	Uranium oxide, before transitioning to uranium nitrides	≤ 19.7%	47%	≥ 100	≥ 24
Terrestrial Energy	IMSR(용융염 원자로)	Circulating molten salt fuel (fluoride) with U	〈5%	44%	-	84
Kairos Power	KP-FHR(불화염냉각 고온로)	TRISO fuel	19.75%	44%	-	Online Refuelling
Urenco	U-Battery(고온가스냉각 원자로)_MMR	TRISO fuel	〈20%	40%	80	
Moltex Energy	Stable Salt Reactor(고체용융염 원자로)	Static molten salt fuel (chloride) with Pu	Reactor grade Pu	40%	120 - 200	

자료: NEA(2021), IAEA(2020), 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

SMR 노형별 노심 출구온도(1차 계통), 열 출력량 범위

- 노심 출구 온도 550℃ 이상: 화학, 암모니아 정제 사용 가능 → 800℃ 이상: 알루미늄, 철강, 세라믹 등 제련, 수소 열분해 가능



자료: NEA(2024), 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

4세대 SMR은 사용후핵연료의 위험 및 처리비용 감소 가능

- VOYGR(3.5세대 경수로)는 대형 원전 경수로 대비 사용후핵연료는 10% 증가, 방사능, 붕괴열, 방사성독성도 소폭 증가
- Natrium(소듐냉각증식로)은 높은 연소도와 열효율로 인해, 사용후핵연료 무게 72%, 부피 42% 적게 발생. 한편, 사용후핵연료 단위 당 플루토늄, 장기 방사능, 독성은 증가
- Xe-100(고온가스냉각로)은 사용후핵연료의 무게 75% 감소하고, 방사화학(방사능, 붕괴열, 방사성독성 등) 특성도 낮음. 단, 부피는 약 12배 증가. 이는 TRISO 핵연료 특성상 다량의 흑연 감속재와 비연료 매트릭스 및 SiC 코팅을 포함하고 있기 때문

주요 SMR 설계별 방사성폐기물 지표

구분	대형 원전	VOYGR	Natrium	Xe-100
원자로 노형	경수로	경수로(3.5G SMR)	소듐냉각증식로	고온가스냉각로
무게(톤/GWe-년)	21.7	23.9 (1.10)	6.10 (0.28)	5.41 (0.25)
부피(m³ /GWe-년)	9.58	5.41 (0.25)	5.56 (0.58)	118 (12.3)
방사능(Ci/GWe-년)		(1.07, 1.08, 1.04, 1.05, 1.08)	(0.63, 0.71, 0.63, 1.40, 1.17)	(0.79, 0.80, 0.45, 0.38, 0.58)
@ 10¹, 10², 10³, 10⁴, 10⁵년				
붕괴열(kW/GWe-년)				
@ 10년	40.6	42.2 (1.04)	24.5 (0.60)	32.2 (0.79)
@ 100년	9.76	10.3 (1.05)	4.65 (0.48)	6.36 (0.65)
방사성독성(× 10⁸ Sv/GWe-년)				
@ 10,000년	1.21	1.27 (1.06)	1.78 (1.47)	0.413 (0.34)
@ 100,000년	0.0860	0.0912 (1.06)	0.127 (1.48)	0.0406 (0.47)
저준위폐기물(m³ /GWe-년)	645.3	573 (0.9)	-	-
중준위폐기물(m³ /GWe-년)	0.13	0.72 (5.7)	0.0 - 5.5 (0.0 - 4.4)	0.0 - 24.5 (0.0 - 193.1)

주: 괄호() 안 수치는 대형 원전 경수로 수치와의 비율을 나타냄(대형 원전 경수로 = 1)

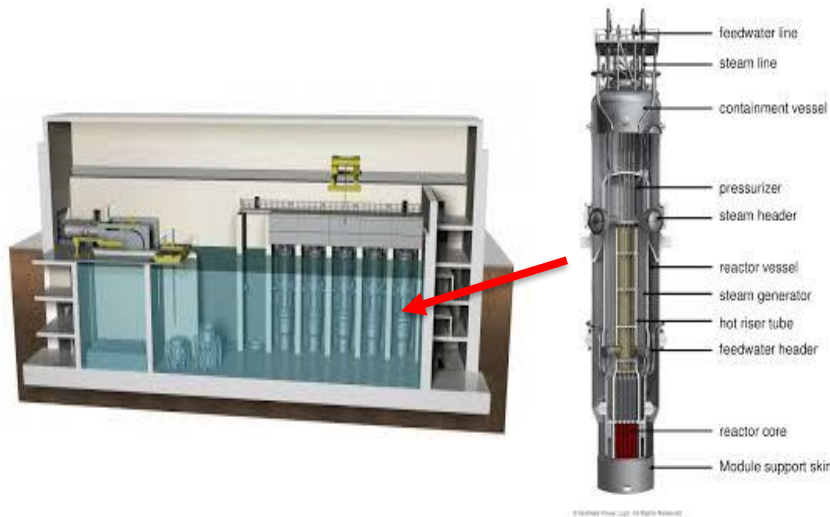
자료: 'Nuclear Waste Attributes of SMRs Scheduled for Near-Term Deployment', ANL/NSE-22/9,8, 에너지경제연구원, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

3.5세대 SMR: 수냉각 기반의 대형 PWR의 소형화, 모듈화

- NuScale의 VOYGR 77MW x 모듈 6기(또는 12기): 기자재 일체화/모듈화 성공: 원자로, 가압기, 증기발생기, 냉각재 펌프 등을 압력용기에 내재화
- 완전피동 안전계통 구현: 냉각수의 자연순환 냉각(온도, 밀도 차이를 통해 물순환 펌프 작동)을 통해 노심의 잔열 제거
- 상용화 프로젝트: 루마니아 RoPower 462MW(2029년 준공 목표) 이외 미국 Standard Power 2GW, 폴란드 KGHM 462MW 진행중
- 10 CFR PART 52 인허가 전략: 2025년 7월까지 77MW의 표준설계인가(SDA) 완료 후 COL(건설/운영 통합인허가, 2~3년) 진행
- SMR 업체 중 가장 빠른 상용화 및 확대: SDA 획득으로 건설/운영인허가 및 총 건설기간 축소, 3.5세대 대형 PWR 공급망 이용 가능

NuScale의 SMR 구성도



NuScale의 프로젝트 파이프라인 현황

프로젝트	국가	준공 계획	설비용량 (Mwe)	모듈 수 (기)	현황
개발 진행 프로젝트					
	3개국		2,924	38	모듈 1기당 77MW
RoPower	루마니아	2029	462	6	FEED2 진행중 2025년 본계약
Standard Power	미국	2030	2,000	26	오하이오, 펜실베이니아
KGHM	폴란드	2029	462	6	2023년 7월 건설계획 승인

MOU 프로젝트 5개국(폴란드, 불가리아, 체코, 우크라이나, 가나)

주: p32 '현재 미국의 SMR 인허가 규칙: NuScale은 Part 52(SDA + COL) vs. 4세대 SMR은 PAA + Part 50)' 참조
 자료: NuScale, 대신증권 Research Center

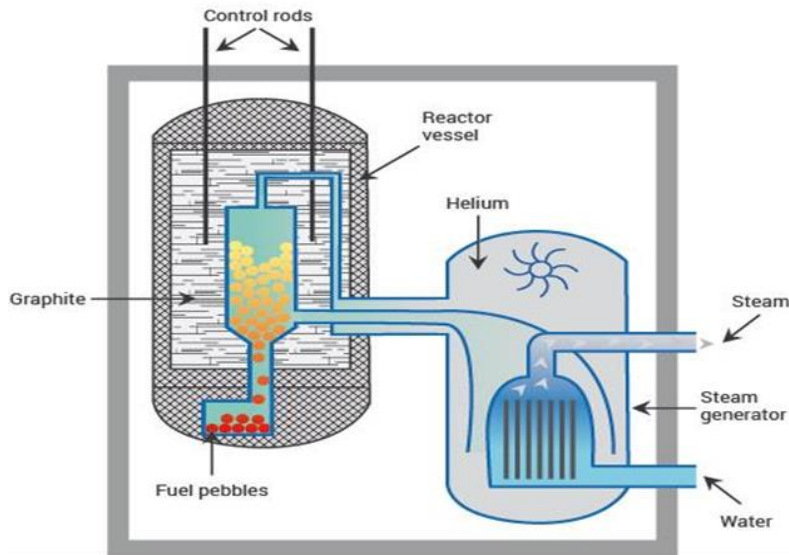
자료: NuScale, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

고온가스냉각로(HTGR, High Temperature Gas-cooled Reactor)

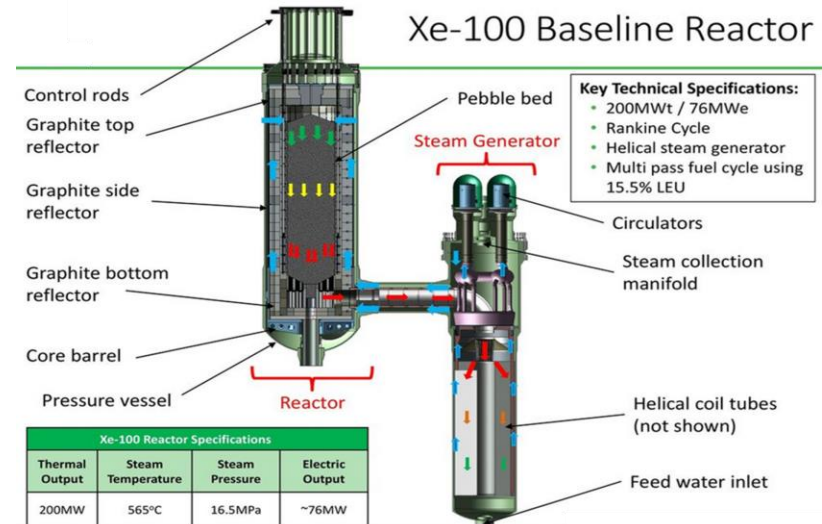
- 장점: 상용 원자로(중국 HTR-PM)가 존재하는 유일한 4세대 SMR. 노심 출구온도 750°C의 운전, 높은 열효율로 전력/열 생산 가능, TRISO(피복입자 핵연료) 사용으로 고유안전성 향상, 고온 스팀은 화학/암모니아 공정, SOEC(고온수전해)에 사용 가능
- 해결 과제: 대용량 냉각재 순환 펌프 및 가동을 위한 전력소모, 대용량 원자로 용기(가압기 포함) 등이 필요→ 전력생산비용은 다른 4세대 SMR 대비 부족할 수 있으나, 부산물인 고온 스팀 생산을 통해 상쇄할 수 있음
- X-Energy: Xe-100, 320MW(모듈 80MW x 4), 스팀 출구온도 575°C, 자체 TRISO 생산 기술 보유. Dow Chemical과 320MW(화학 공정열 활용 목적), 투자비 25억달러(ARDP 11억달러), 2025년 자체 설계 완료, 2026년말 건설허가승인, 2029/2030년 준공 및 운영허가승인 목표), Amazon 과 전력공급 계약(초기 320MW, 2039년까지 5GW)

고온가스냉각로 구성도



자료: Demkowicz (2019), 대신증권 Research Center

Xe-100 구성도



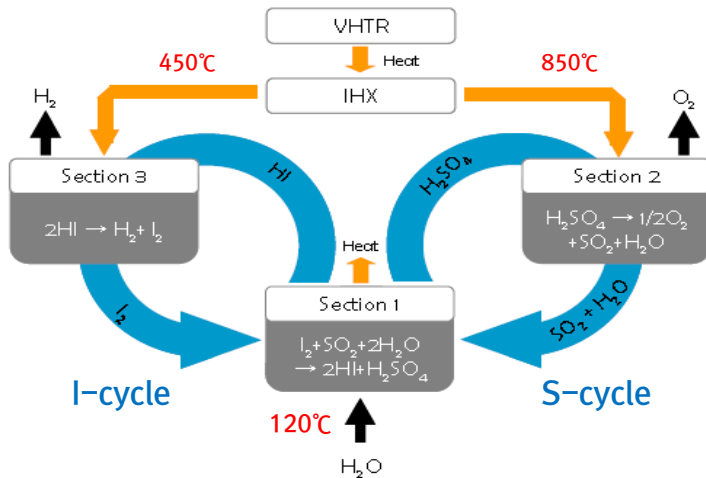
자료:X-Energy, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

초고온가스냉각로(VHTGR), 불화염냉각 고온로(FHR, Fluoride salt-cooled High Temperature Reactor)

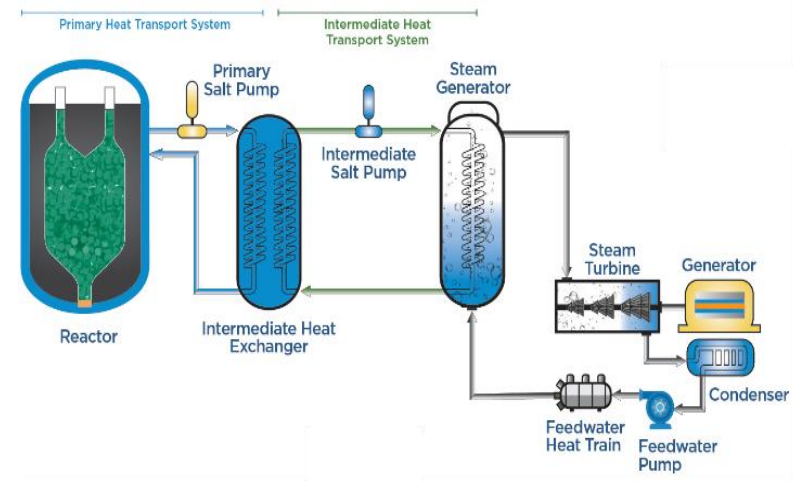
- 초고온가스로의 장점 및 기술 과제 : 노심출구 온도 950℃ 이상, 가장 높은 열효율로 전력/열 생산 가능. 스팀 출구온도 850 ~ 900℃에서 부산물로 청정수소 생산(황산요오드 촉매를 통한 열분해) 가능. 단, 높은 열전도 및 초고온 내구성을 지닌 구조재료 확보 등이 필요
- 불화염냉각 고온로의 장점 및 기술 과제: 냉각재로 헬륨기체 대신 고체 불화염(Flibe, Li_2BeF_4) 사용. 최대 650℃의 고온과 대기압에서 작동(가압 필요 없음). 고온에서 화학적 안정적, 냉각재 유출 시 방사성 붕괴 생성물의 안정적 포집 가능(고체화). 단, 염은 강한 부식성 문제 해결 필요
- Kairos Power: Hemes2(2개의 35MWth급 발전용 실증로)를 ARDP 보조금 3억달러 유치, 2024년 건설허가 획득, 2027/2028년 준공 예정. KP-FHR(150MW(75MW x 모듈 2기), 스팀 출구온도 565℃)는 2030년 초반 준공 목표. 구글과 전력공급 계약 2030년 150MW(75MW x 모듈 2기) 시작으로 2035년까지 500MW(모듈 7기)로 확대 예정

초고온가스냉각로와 황산/요오드 열화학의 수소 생산 구조



자료: 한국수력원자력, 대신증권 Research Center

Kairos Power의 OKP-FHR 구조도



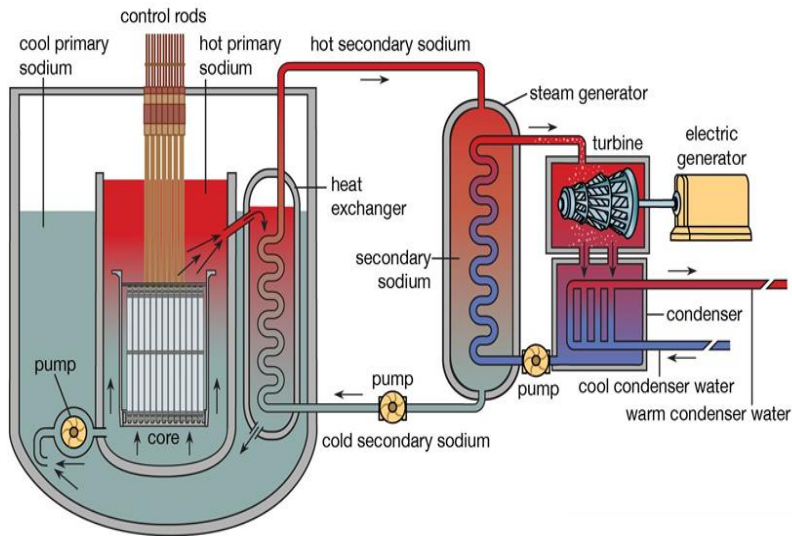
자료:Kairos Power, 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

소듐냉각 고속로(SFR, Sodium-cooled Fast Reactor), 납냉각 고속로(LFR, Lead-cooled Fast Reactor)

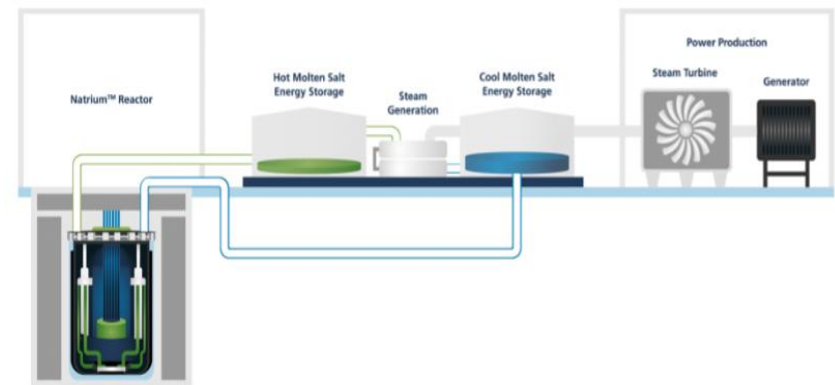
- SFR의 기술적 과제: 소듐은 물과 접촉하면 폭발적으로 반응하므로 누출 시 안전 문제 해결이 관건
- 대표 SFR 프로젝트는 Terra Power의 Natrium(GEH와 공동 개발):소듐냉각 고속로와 용융염 에너지저장시스템(전력 345MW + 5.5시간 동안 추가로 155MW 출력 가능해 재생에너지에 높은 부하추종(에너지저장능력 850MWh 이용), 스팀 출구 온도 500℃ 이상)
- Natrium 실증로 사업(Wyoming주 석탄발전소 대체, 투자비 40억달러 소요)는 2026년 원자로 건설허가, 2029~2030년 준공 목표, 자체 핵연료 제조시설 Natrium Fuel Facility 건설 중
- 납냉각 고속로: 소듐과 달리 물과 반응성 낮음. 다만,부식문제 등의 해결 필요, 대표 프로젝트는 EU-SMR-LFR(이탈리아 Ansaldo Nucleare 및 ENEA, 벨기엘 SCK-CEN, 루마니아 RATEN)로, 2024년 10월 유럽연합 집행위원회가 금융지원을 승인한 첫번째 4세대 SMR 개발 프로젝트

소듐냉각 고속로



주: 납냉각고속로의 기본적 구조는 소듐 대신 납을 투입
자료: Encyclopaedia Britannica, 대신증권 Research Center

Terra Power의 Natrium Reactor



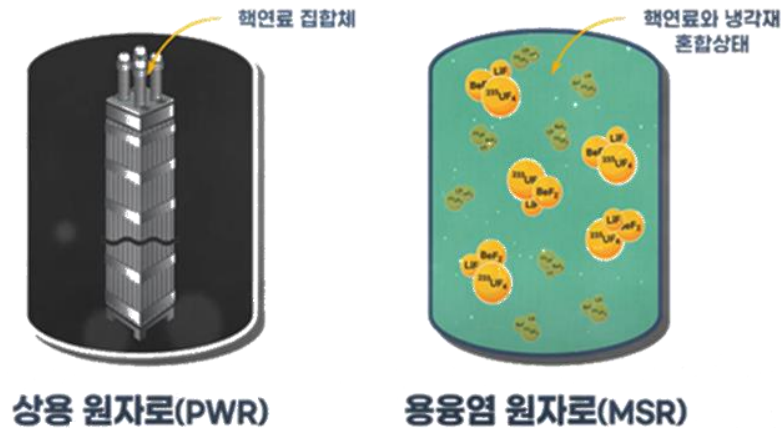
자료: Tera Power 대신증권 Research Center

I. SMR의 기술 개발 현황

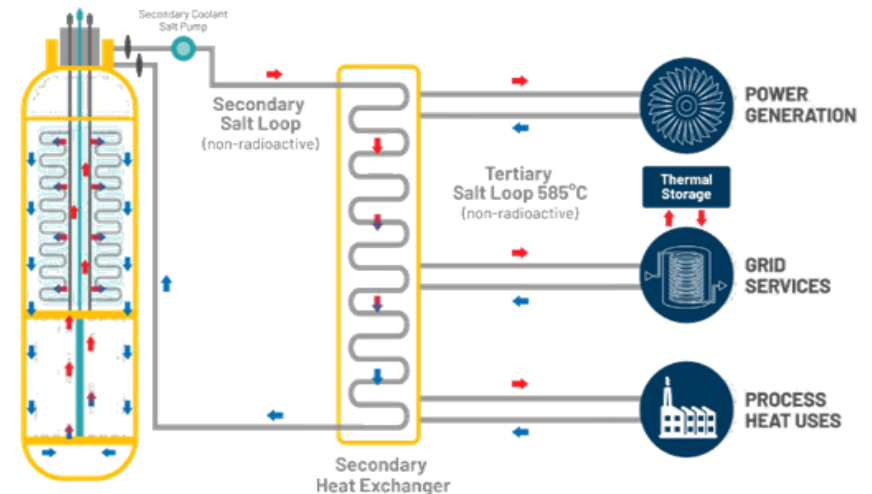
용융염 원자로(MSR, Molten Salt Reactor)

- 용융염 원자로: 대기압의 고온에서 용융된 불화염(Fluoride), 염화염(Chloride)에 핵연료를 녹인 액체 혼합물을 핵연료 및 냉각재로 동시에 활용
- 원천적으로 노심용융 배제 가능: 사고시 핵연료와 함께 냉각재가 굳어버려 고체가 됨. 4세대 SMR 중 가장 높은 안전성 확보 가능, 열중성자 이외 고속중성자 사용이 가능해 사용후핵연료 재사용(우라늄, 플루토늄, 토륨 등 모두 사용) 가능
- 선박용 원자로 추진체 사용: 고온 작동 안전성 및 계통 단순화, 유체 내 균일한 열분포를 가지고 있으며, 가동 중 연료 충전 가능하여 유연하고 소규모 디자인(고체연료는 피복관 필요), 가동 중에 발생한 사용후핵연료를 바로 재사용 가능
- 기술적 해결 과제: 염(Salt, 액체소금)로 인한 부식 문제 해결 필요, 염(소금)은 강한 부식성 존재
- Terrestrial Energy(캐나다/미국)의 iMSR(불화염 원자로, 390MW): 캐나다, 미국, 영국 등에서 동시에 인허가 절차

가압경수로(PWR)와 용융염 원자로(MSR)의 핵연료 비교



Terrestrial Energy의 iMSR 구조도



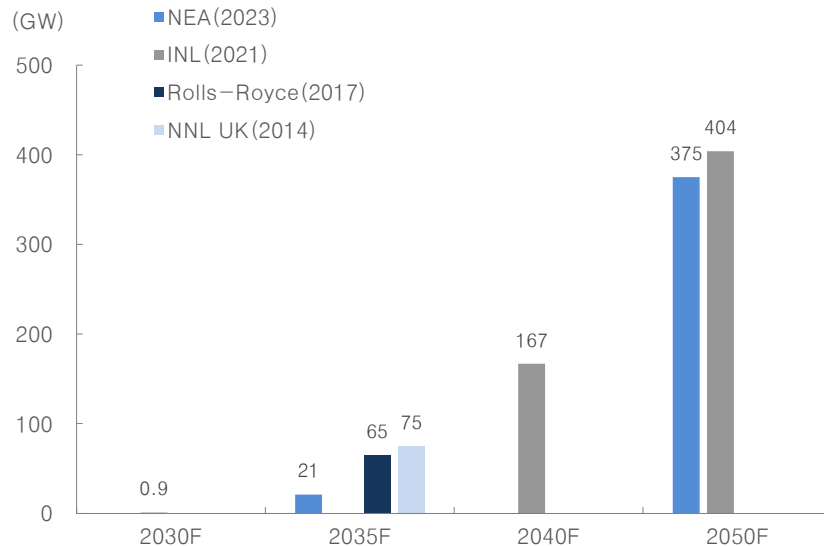
II. 글로벌 SMR 시장규모

II. 글로벌 SMR 시장규모

글로벌 SMR 누적설치 규모는 '35년 최소 20GW 이상 전망. 1Q24 기준 SMR 프로젝트 계획 용량은 총 22GW

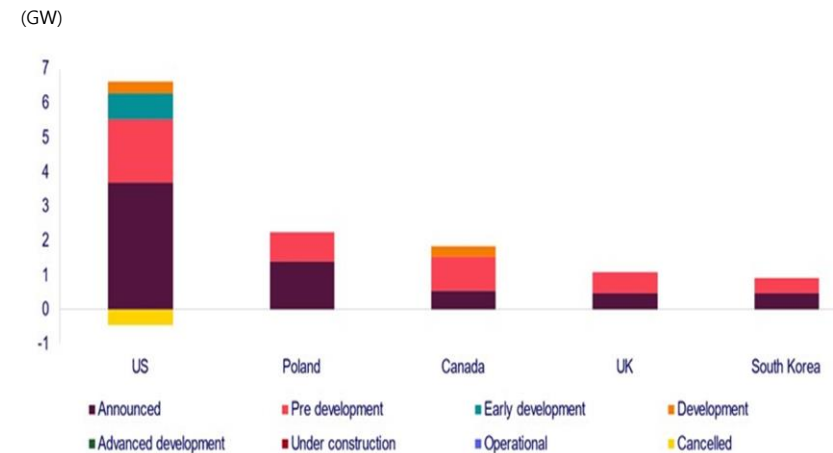
- 글로벌 SMR 누적 설치규모는 2035년까지 21 ~ 75GW, 2050년까지 375 ~ 404GW에 이를 전망. 탄소중립 목표, AI 수요 등에 따라 그 이상도 가능할 수 있음
- 1Q24 기준 발표된 글로벌 SMR 프로젝트는 총 22GW(2021년 +65%, 미국 6 ~ 7GW), 총 요구 투자비 1,760억달러(8,000달러/kW)로 추산
- 2030 ~ 2040년 연평균 시장규모는 140 ~ 150조원 예상((i-SMR 기술개발사업단 취합), 이는 연평균 15GW 이상 설치 수준
- 분야별로는 석탄발전 대체 100조원 이상(천연가스, 이하 경쟁 에너지), 오지 30조원(디젤), 공정열 공급 12조원(천연가스), 광산 3.5조원(디젤) 등

글로벌 SMR 누적 설치규모 전망



자료: Nuclear Energy Agency(2024), Idaho National Laboratory(2021), Rolls-Royce(2017), National Nuclear Laboratory UK(2014), 두산에너지리티, 대신증권 Research Center

글로벌 국가별 SMR 건설 계획 발표 현황 (1Q24 기준)



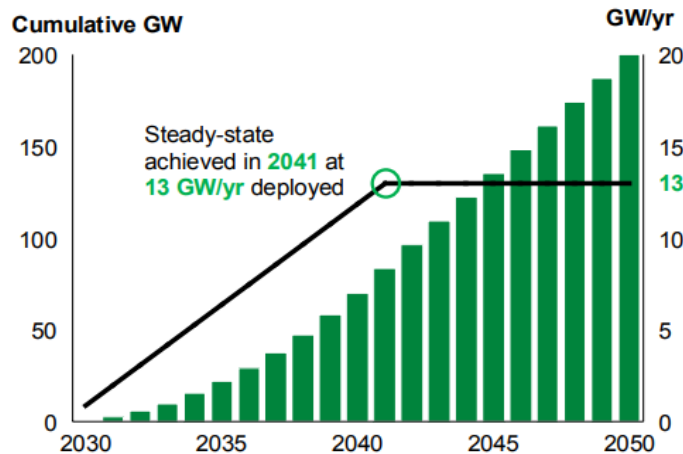
자료: Wood Mackenzie, 대신증권 Research Center

II. 글로벌 SMR 시장규모

DOE의 미국 신규 원전 설비용량 전망치: 2050년까지 200GW 이상, 최대 455GW(SMR 120 ~ 170GW)

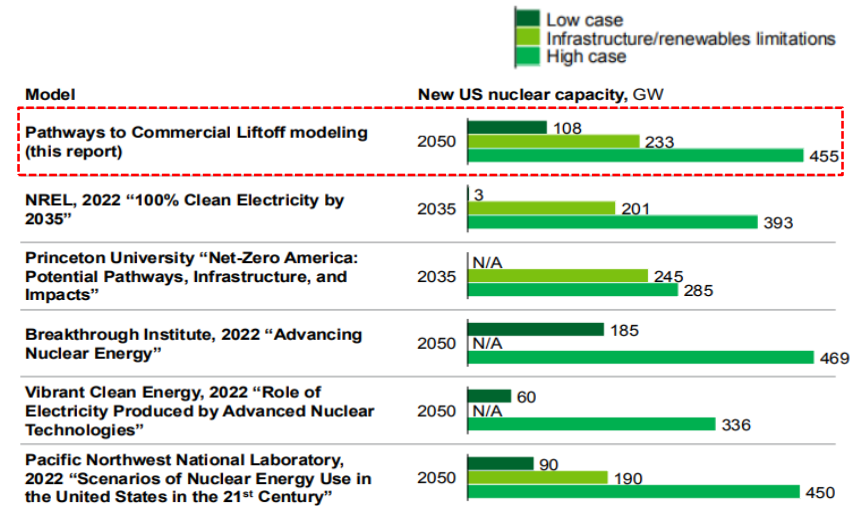
- COP28 원전 3배로 증설: 기존 97GW에서 2050년까지 300GW 이상으로 증설, 신규 원전의 설치규모는 1) 200GW 이상, 2) 최대 455GW (AI 수요 증대, 4세대 SMR의 건설비 하락 등)로 확대 가능. 원자로 구성은 정해져 있지 않음
- DOE는 Liffoff 보고서(2024,09): 2030년부터 신규 원전 설치하여, 2040년까지 연간 지속가능 설치규모 13GW 필요
- 백악관의 로드맵(Nuclear Energy Deployment Framework, 2024,11): 2035년까지 누적 35GW, 2040년까지 연간 지속가능 설치규모 15GW
- 미국 발전시장은 민영 시장. 원자로 구성은 정부의 대형 원전(긴 공기) 프로젝트 대출 의지, 민간의 SMR(짧은 공기) 파이낸싱 결정에 달라질 것

DOE의 미국의 신규 원전 설치 전망



자료: DOE(Department of Energy) 2024.09, 대신증권 Research Center

2050년까지 신규 원전 설비용량 전망 관련 다양한 연구 결과



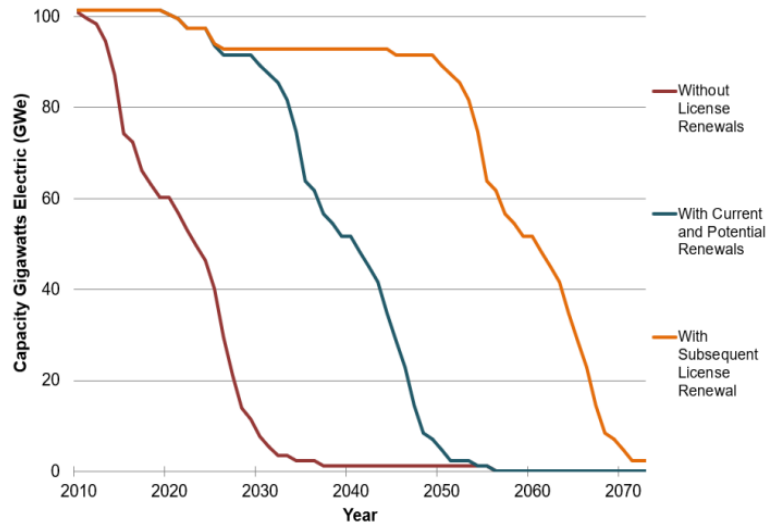
자료: DOE(Department of Energy) 2024.09, 대신증권 Research Center

II. 글로벌 SMR 시장규모

기존 전력망을 이용한 증설방안: 1) 기존 원전의 수명연장/출력 증대, 2) 폐쇄 석탄발전 부지에 SMR 설치

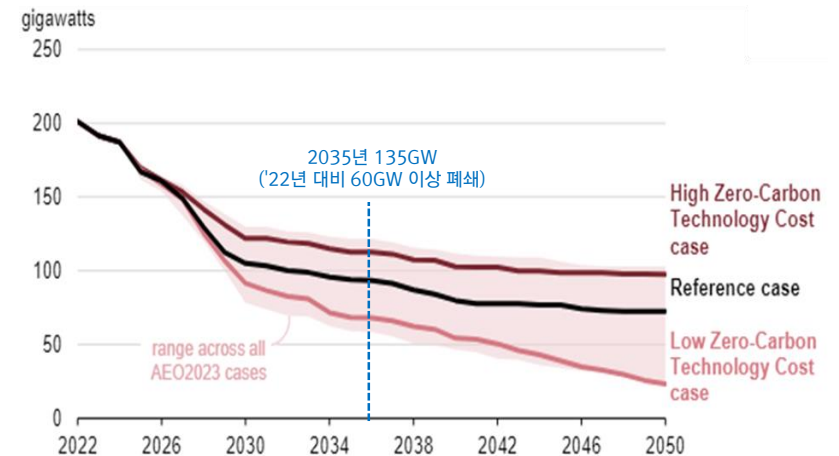
- [증설 방안 1] 2차 수명연장 시 출력 10 ~ 20% 증대: 원전의 기본 수명은 40년, 현재 90% 이상(2024년 운영 원전은 5개 부지, 94개, 97GW)가 1차 수명연장(20년), 몇몇 원전은 2차 연장(20년) 성공. 2032년 이후 순차적으로 2차 수명연장, 폐기 원전 재가동 등 성능개선 투자
- 출력 증강은 설비용량 증설, 사고내성연료 및 LEU+(U-235 5 - 10%) 사용, 더 높은 연소 수준 작동(연료에서 에너지 추출 증가) 등을 통해서 가능
- [증설 방안 2] 기존 소규모 석탄발전소를 SMR 120~170GW로 대체 가능: 2024년 석탄발전 192GW 존재. 무탄소기술 발전 수준에 따라 폐기 속도가 달라질 수 있음 → 기존 석탄발전 인프라를 활용 시, 신규 원자력 건설비용은 최대 35% 축소 가능

미국의 대형 원전 1, 2차 수명 연장에 따른 설비용량 전망



자료: U.S. NRC, 대신증권 Research Center

미국의 석탄발전 폐쇄 규모 전망



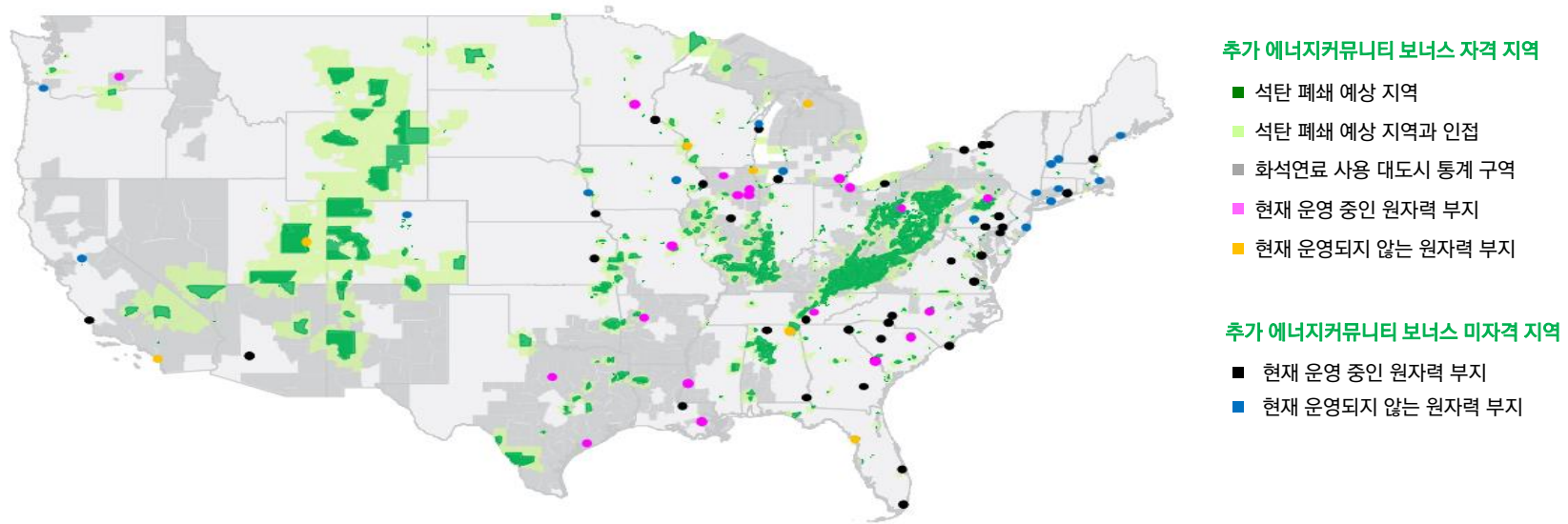
자료: EIA(2023 AEO), 대신증권 Research Center

II. 글로벌 SMR 시장규모

기존 전력망을 이용한 증설방안: 3) 기존 원전의 유희부지 및 폐쇄 원전 부지에 대형 원전 설치

- [증설 방안 3] 기존 및 과거 신청 부지에 신규 대형 원전(일부 SMR 포함) 60 ~ 95GW 건설 가능:
- 1) 원전 부지 65개(가동 54개, 폐쇄 11개) 중 41개 부지에 대형 원전 60GW 이상 건설 가능, 2) 2007 ~ 2009년 28기의 대형 원전 건설 신청 부지 존재(Vogtle 3,4 제외, 현재 5개 원전 프로젝트 라이선스 보유)
- 기존 원전 부지의 다중 호기 건설 가능한 유희 부지 이용(원전 부지는 4개 호기 건설로 설계. 현재 19개 부지는 1개 호기, 31개 부지가 2개 호기 운영 등) → 다중 호기로 원전 건설 시, 단일 원전 대비 LCOE 최대 30% 축소 가능

원전 증설 시, 에너지커뮤니티 추가 세액공제 10% 자격 지역



주: 에너지커뮤니티는 역사적으로 화석연료 관련 산업에 의존해오던 지역. 운영 중인 원자력 부지 20곳과 폐쇄된 원자력 부지 5곳도 포함
자료: DOE, U.S. NRC, INL, 대신증권 Research Center

II. 글로벌 SMR 시장규모

클라우드 기업들은 데이터센터 주요 전력 공급원으로 SMR 낙점, 특히 4세대 SMR에 베팅

- 2024년 7월 미국의 ^{주)}ADVANCE Act이 통과된 이후 오라클, 아마존, 알파벳, 마이크로소프트 등 빅테크들은 SMR을 통한 장기 전력공급계약(PPA)을 체결하기 시작하고 있음. 특히 아직 기술적 안전성과 경제성이 증명되지 못 한 4세대 SMR으로부터 전력공급계약이라는 점에서 눈에 띄
- 클라우드 기업들은 장기적으로 안정적이며 청정한 전력 공급 필요. 신규 AI 데이터센터를 원자력 발전소 옆에 짓는 Co-Location 전략 추진
- 1) 대형 원전은 10년 이상의 장기 공기 및 공기 지연 우려, 대규모 투자, 데이터센터 캐파 대비 대규모 수요 확보가 필요하여 개별적으로 전력공급 계약을 맺기 쉽지 않음. 2) 재생에너지는 전력망 연결 지연, 전력시스템 운영 비용 상승(전력망 부하 상승, 유연송전시스템, 부하추종 전력원 등) 등의 우려가 있어 재생에너지만으로 데이터센터 증설 속도에 맞추어 적기에 전력을 공급받기 쉽지 않음

클라우드 기업들의 SMR 도입 계획

	현황 및 계획
스탠다드파워	<ul style="list-style-type: none"> 스탠드파워는 데이터센터 구축 후 서버 임대 업체, 자체적으로 운영하는 데이터센터에 SMR 전력 공급 계획 펜실베이니아주와 오하이오주에 각각 12모듈 NuScale의 VOYGR(총 24기, 1,848MW) 발전소 건설 계획 발표
오라클	<ul style="list-style-type: none"> 오라클은 1GW 이상의 전력을 필요로 하는 데이터센터 건설을 추진 해당 데이터센터에 필요한 전력은 3개의 SMR 통해 공급받을 계획, 계약 상대방은 아직 공개되지 않음
와이오밍 하이퍼스케일	<ul style="list-style-type: none"> 와이오밍 하이퍼스케일은 와이오밍주에 본사를 두고 있는 데이터센터 운영 업체 Oklo의 Aurora를 이용해 100MW 전력 공급을 목표로 하는 20년간 전력구매계약(PPA) 체결을 위한 LOI 서명. 향후 500MW까지 공급 계획
다우케미칼	<ul style="list-style-type: none"> 다우케미칼은 X-Energy의 Xe-100 4기(320MW)를 텍사스주 씨드레프트 산업 단지에 설치하기로 함. 이는 화학 공정열 활용 목적 투자비는 25억달러이며, 이 중 ARDP 지원금은 11억달러, 2026년말 건설허가승인, 2029/2030년 준공 및 운영허가승인을 목표로 하고 있음
아마존	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 SMR 개발 기업 X-Energy에 5억 달러의 펀딩을 제공하고, 향후 생산되는 전력 구매하기로 계약, 2039년까지 5GW로 확대 계획 에너지 노스웨스트와 워싱턴주에 X-Energy의 Xe-100 4기(320MW) 건설을 추진. 향후 최대 12개(960MW)까지 늘리는 옵션 포함 아마존은 도미니언 에너지와 함께 버지니아주 노스 애나 원전 근처에 SMR 300MW 이상의 프로젝트를 개발하는 계약을 체결
알파벳	<ul style="list-style-type: none"> 알파벳은 SMR 개발 기업 카이로스 파워와 불화염냉각 고온로(FHR)를 통한 전력 구매 계약을 체결, 첫번째 원자로 150MW(75MW x 모듈 2기)는 2030년부터 가동을 시작하며, 2035년까지 500MW(모듈 7기)로 확대할 것이라고 발표
마이크로소프트	<ul style="list-style-type: none"> Constellation Energy와 스리마일섬 원자로 1호기(880MW, PWR)를 2028년부터 재가동해 데이터센터에 전력을 공급하는 계약을 체결 마이크로소프트는 2024년 1월 글로벌 SMR/MMR 전략을 총괄할 인력을 채용. 테레파워(설립자는 빌 게이츠)의 SMR을 도입할 가능성 존재

주: p31 'ADVANCE Act: SMR 설치 확대를 위한 전방위 포괄적 지원 프로그램 및 규제 완화' 참조

자료: 언론보도 정리, 대신증권 Research Center

III. 미국 정부의 SMR 지원 법안

III. 미국 정부의 SMR 지원 법안

미국 ARDP, MARVEL를 통해 SMR/MMR의 R&D 및 실증로에 대규모 보조금 지원

- ARDP(Advanced Reactor Demonstration Program, SMR 개발 및 실증로 지원 프로그램), MARVEL(Microreactor Applications Research Validation and Evaluation, 초소형 원자로 개발 지원 프로그램)을 통해 총 51억달러 이상의 개발 및 상용화 지원
- ARDP는 기술 성숙도에 따라 실증사업 프로젝트(Advanced Reactor Demonstrations), 위험감소 프로젝트(Risk Reduction for Future Demonstrations Program), ARC 20 프로젝트(Advanced Reactor Concepts 2020)로 구분하여 지원
- 가장 많은 지원을 받는 SMR 개발업체 및 노형은 NuScale 13.9억달러(두번째 3.5세대 SMR 업체항 1억달러 보조금 지불 제외), X-energy 12.9억 달러, Terra Power 19.8억달러 등

미국 DOE의 ARDP 및 MARBLE 지원금액

지원 기업	지원 연도	경쟁 여부	목적	편당 금액
NuScale 등 3.5G SMR	2014-2018	경쟁	개발 & 인증 프로젝트 (NuScale VOYGR)	226
	2015-2021	비경쟁	부지 허가 & SMR 라이선싱 (NuScale VOYGR)	8
	2018	경쟁	Phase I - 시연 준비 프로젝트 (NuScale VOYGR)	48
	2018-2019	경쟁	Phase II - 시연 준비 프로젝트 (NuScale VOYGR)	43
	2020-2024	비경쟁	Phase II - 시연 프로젝트 완료 (NuScale VOYGR)	263
	2025-2030	경쟁	상업화(3.5G SMR Program Engagement Opportunities)	900
전체 3.5G SMR 지원 규모				1,488
Terra Power	2020-2022	경쟁	선진 연료 적합	0.49
	2021-2028	경쟁	Natrium 시연 프로젝트	1,979
전체 Terra Power 지원 규모				1,980
X-energy	2016-2022	경쟁	XE-100(80MW) Pebble Bed 문제 해결	40
	2018-2022	경쟁	HALEU 개발 위한 디자인 & 라이선스	19
	2020-2022	경쟁	Xe-100 컨셉 디자인	3
	2021-2027	경쟁	상업화	1,232
전체 X-energy 지원 규모				1,294
Kairos Power	2024-2028	비경쟁	Hermes(50MW) 실증 프로젝트	303
Holtec	2021-2027	비경쟁	개발 & 인증 프로젝트 (SMR-160, SMR-300)	116
기타 RRFD	2026~	경쟁	Westinghouse(eVinci), BWXT(BANR), Southern Company/Terra Power(MCFR)	1,231
MARVEL	2026~	경쟁	Oklo(Aurora), USNC(Pylon), Radiant(Kaleidos) 등	
전체 RRFD(Risk Reduction for Future Demonstration) + MARVEL 지원규모				1,680

자료: DOE(Department of Energy) 2023, 대신증권 Research Center

III. 미국 정부의 SMR 지원 법안

미국의 글로벌 SMR 시장 주도를 위한 상용화 및 수출금융 지원 법안

- IRA(상용화 지원) : 2032년까지 원자력 준공될 경우 ITC(투자세액공제) 30 ~ 50%가 적용됨.(기본 공제 + 로컬 콘텐츠 추가공제 10% + ^주에너지 커뮤니티 추가공제 10%), 2033년까지는 26 ~ 46%, 2034년까지는 22 ~ 42% 공제
- CEFP(투자금액 대출): 청정 에너지 인프라 재투자 사업 관련 대출 가능금액 2,500억달러 중 혁신 원자력은 620억달러 대출 가능
- FIRST Program, EXIM SMR Financing Toolkit (수출금융 지원): 미국의 SMR 기술을 도입을 희망하는 국가에 프로젝트 개발 보조금 지원, 수출금액의 대출 지원(수출금액의 최대 85%, 현지비용의 최대 40% 대출 및 보증 제공 및 완공 후 최대 22년까지 상환기간 연장)

미국의 대형 가동 원전 발전(생산), SMR 투자 및 수출 지원 법안

	주요 내용
CNC(Civil Nuclear Credit Program) : 상용 원전 운영지원 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 가동중지(예정) 원전의 계속운전을 위해 재정 지원, 2031년까지 60억달러 지원(출처: 초당적인프라법, BIL) 2024~2032년 동안 가동중 원자력의 생산세액공제 3~15 달러/MWh + 추가공제 10%(유지보수 투자 시, 미국산 철강 및 제조 제품 사용비율 만족) +10%(에너지 커뮤니티 위치)
IRA(Inflation Reduction Act) : 인플레이션 감축법	<ul style="list-style-type: none"> 2025년부터 신규 원전 투자세액공제 2032년까지 30%(기본공제율 6% X 5배) 적용 2033년 26%(5.2% X 5배), 2034년 22%(4.4% X 5배) 적용. 5배는 적정임금 및 등록견습생 요건을 충족하는 프로젝트 추가공제 10%(미국산 철강 및 제조 제품 사용비율 만족) +10%(에너지커뮤니티 위치) 2033년 최대 50%(2033년 46%, 2034년 42%) 투자세액공제 가능.
the Title 17 Clean Energy Financing Program	<ul style="list-style-type: none"> 청정 에너지 인프라 재투자 사업 관련 대출 가능금액 2,500억달러 중 혁신 원자력, 프로젝트는 620억달러 대출 가능 가동 원전 성능개선, 석탄발전소의 원자력으로 전환 등 원자력 프로젝트도 대출 가능 혁신적이지 않더라도 상업적으로 이용 가능한 원자력 기술을 활용하는 프로젝트는 최대 200억달러 대출 가능
FIRST Program (Foundational Infrastructure for Responsible Use of SMR Technology) : SMR 해외 인프라 지원사업	<ul style="list-style-type: none"> SMR 도입을 희망하는 국가에 워크샵, 타당성조사, 규제, 근로자 역량 개발, 이해관계자 참여, 조금조달 등을 지원 현재 참여국은 루마니아 등 39개국. 이 중 기여국은 미국, 캐나다, 일본, 한국 4개국 Project Phoenix(화력발전소의 SMR 전환 지원, 각 국가당 800만달러)의 수혜국은 체코, 폴란드, 슬로바키아, 슬로베니아
EXIM SMR Financing Toolkit : 수출입은행 SMR 금융지원 사업	<ul style="list-style-type: none"> 수출계약 금액의 최대 85%, 현지비용의 최대 40% 대출 및 보증 제공, 완공후 최대 22년간 상환기간 연장 가능 선금의 100%와 공사 기간 동안의 이자 용자 가능, 수출신용기관과 협력해 SMR 노형 부품에 비용 지원

주: 에너지커뮤니티는 환경오염, 석탄 폐쇄 및 인근 지역, 화석연료 사용 대도시 통계구역 등 역사적으로 화석연료 산업에 의존해온 지역. 운영 중인 원전 부지 20곳과 폐쇄된 원전 부지 5곳도 포함

자료: DOE(Department of Energy) 2023, 대신증권 Research Center

III. 미국 정부의 SMR 지원 법안

미국의 원자력연료 지원 법안

- 미국 정부는 원자력 발전에 필요한 원료의 러시아 의존도를 낮추고 미국 자체 생산을 늘리기 위한 법안들을 제정
 - 1) 러시아 우라늄 수입 규제를 통해 해외 의존도를 낮추고 국내 생산을 촉진
 - 2) 원자력 연료 안보 법안을 통해 미국 에너지부가 미국 우라늄 농축 설비 구축에 27.2억 달러를 지원
 - 3) HALEU Availability Program을 통해 미국 기업들과 HALEU 조달 계약을 체결. 2026년 9월 말까지 7억 달러를 투자

미국의 원자력연료 지원 법안

타이틀	목적	세부 사항
원자력 연료 안보 법안, 러시아 우라늄 수입 규제	원자력 원료 조달 국산화	<ul style="list-style-type: none">러시아산 우라늄 제품 수입을 2024년 8월 12일부터 금지에너지부, 상무부의 논의에 따라 2028년 1월 1일까지는 적용 유예 가능러시아 우라늄 제품에 대한 의존도를 줄이고 자국 생산을 장려하기 위함에너지부가 미국 우라늄 농축 설비 구축에 27.2억 달러를 지원
HALEU Availability Program	HALEU 생산 프로그램	<ul style="list-style-type: none">미국 기업의 HALEU 생산을 추진하기 위한 법안미국 기업들로부터 HALEU 조달 계약을 체결하는 것이 골자IRA 법안을 통해 2026년 9월 30일 이전까지 7억 달러를 투자할 계획차세대 원자로는 기존 원자로보다 구조가 작아 순도가 높은 연료 필요한 점을 지원하기 위함

자료: U.S. Department of STATE, 대신증권 Research Center

III. 미국 정부의 SMR 지원 법안

ADVANCE Act: SMR 설치 확대를 위한 전방위 포괄적 지원 프로그램 및 규제 완화

- 바이든 대통령을 2024년 7월 'ADVANCE Act' 서명. 원자력 에너지 규제 프로세스를 단축하기 위한 미국 원자력 발전 위원회의 정책, 원자력 위원회 인력 충원, 라이선싱 비용 인하, 허가 신청 절차 가속화, 환경 평가 부담 완화 등의 사항들 포함
- 폐쇄된 석탄 발전소를 원자력 발전소로 전환하는 과정도 간소화하고, 해외 자본의 미국 원자력 섹터 투자도 촉진할 계획
- 원자력 발전 프로젝트 & 배포 그룹 신설: 원자력 건설 관련 전문가들로 그룹 구성해 비용과 건설 지연에 대한 리스크를 완화 목표
정부에서는 백악관 국내 환경 정책부, 백악관 클린 에너지 혁신 & 실행부, 백악관 과학 & 기술 정책부, 에너지부(DOE) 참여
민간에서는 프로젝트 개발자, 엔지니어링, 조달 & 건설 회사, 유틸리티, 투자자, 노동 조합, 학계, NGO 등 포함

미국의 ADVANCE Act

타이틀	목적	세부 사항
Title 1	국제 원자력 리더십	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미국이 국제 원자력 발전을 주도하며, 러시아와 중국에 맞서 경쟁하는 것을 지원 ■ 러시아 및 중국산 핵연료 사용을 제한하고, 특정 국가로의 기술 수출을 심사하는 NRC 기준 재확인 & 비확산 정책 준수
Title 2	SMR 허가 효율화 개발 지원	<ul style="list-style-type: none"> ■ 첨단 원자로의 허가 절차 간소화를 위해 NRC 요금 체계를 개편하고 수수료를 인하하여 개발 비용 부담 완화 ■ DOE, DOD의 국가 보안 목적으로 원자로 허가를 지원. 브라운필드와 석탄 폐기장 재개발 통해 신규 발전소 위치 확보
Title 3	기존 원자력 발전 역량 유지	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미국 내 원자력 시장에서 OECD 국가 및 인도의 외국 기업에 대한 원자로 면허 발급 금지를 완화 ■ 에너지 및 국가 안보를 강화하고, 심사 과정을 통해 미국의 이익을 보호
Title 4	핵연료 주기, 공급망, 인프라, 인력	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지난 수십 년간 원자력 산업에서 최신 제조 및 건설 기술을 활용하지 않아 공급망이 약화 ■ NRC가 새로운 제조 및 건설 기술을 적용하기 위한 허가 요건을 검토하도록 지시 ■ 핵심 인력 양성을 위해 NRC가 고등교육 기관과 협력하는 하위 프로그램을 설립 ■ DOE, NRC 간 연구 조율을 강화하여 차세대 핵연료 개발을 촉진
Title 5	위원회 역량 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ NRC가 고도로 전문화된 인력을 채용할 수 있도록 특정 권한을 부여하며, 경쟁력 있는 급여와 보너스를 제공 ■ NRC는 모든 수준의 인력을 통합하여 조직의 건강성을 강화하고, 예산 제약을 완화하여 인력 변화에 빠르게 적응을 지원 ■ ADVANCE Act는 기존의 성과 지표와 이정표를 주기적으로 검토하고 더 야심찬 목표를 설정하도록 요구 NRC는 이러한 수정된 한도와 지표에 따라 예산을 적절히 할당하여 라이선스 및 규제 작업의 성장을 지원할 예정

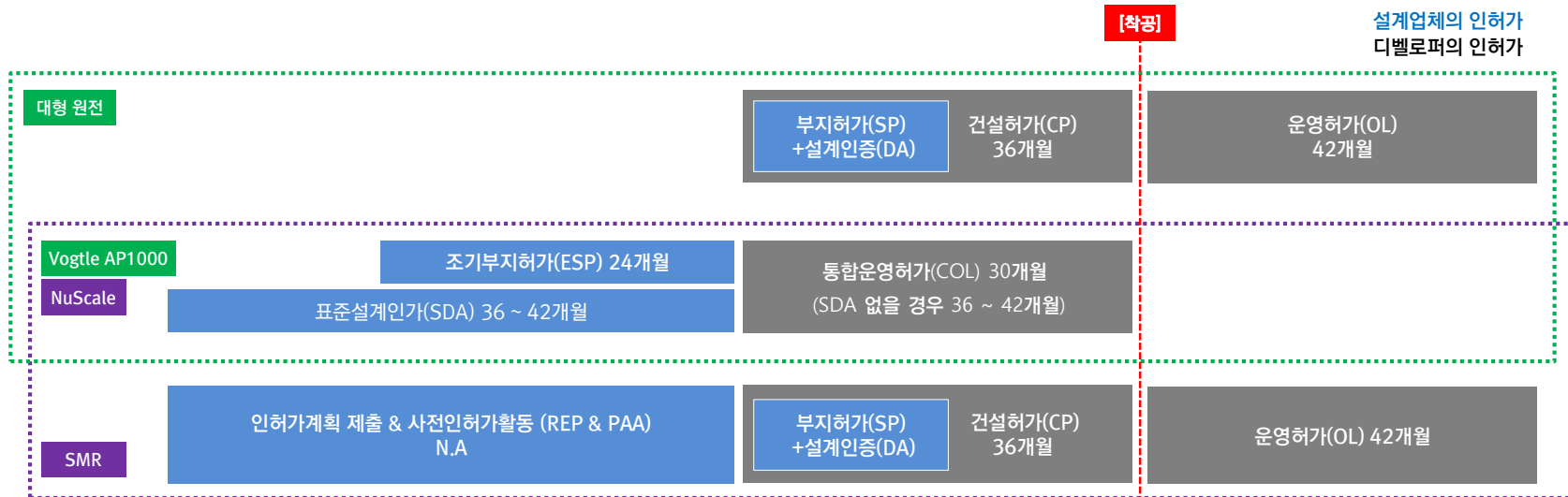
자료: DOE(Department of Energy), 대신증권 Research Center

III. 미국 정부의 SMR 지원 법안

현재 미국의 SMR 인허가 절차: NuScale은 Part 52(SDA + COL) vs. 4세대 SMR은 PAA + Part 50

- 원자력 프로젝트 건설 인허가(디벨로퍼/유틸리티가 신청)
: 10 CFR Part 50(2단계, 건설허가 36개월, 운영허가 42개월), 10CFR Part 52(1단계, 통합 인허가 30개월,)
- 10 CFR Part 52: 설계업체의 표준설계인가(SDA) 획득 시, 유틸리티는 통합운영허가(COL)만 진행하여 인허가 비용(건설허가 3.6억달러) 및 기간 축소 가능하며, SDA는 다양한 프로젝트에 공동 이용 가능 → 설계업체의 SDA 획득은 경쟁력 요소
- NuScale은 2025년 7월까지 VOYGR 77MW의 SDA 완료 후 유틸리티는 10 CFR Part 52 진행
- 4세대 SMR은 인허가계획(REP) 제출 및 사전인허가활동(PAA) 이후 10 CFR Part 50 진행. 후행 프로젝트도 10 CFR Part 50 프로세스 반복

일반적인 미국의 대형 원전 및 SMR 프로젝트의 인허가 절차 및 타임라인 계획



주1: REP(Regulatory Engagement Plan): 개발자가 개념설계단계부터 기술적 배경, 규제 전략, 사전 인허가 전략 제시/PAA(Pre-Application Activities): 규제기관의 설계인증 이전 다양한 형태로 예비심사 수행
주2: *ESP: Early Site Permit, *DC: Design Certification, *SDA: Standard Design Approval, *CP: Construction Permit, *OL: Operating License, *COL: Combined Operating License
자료: US NRC, DOE, 대산증권 Research Center

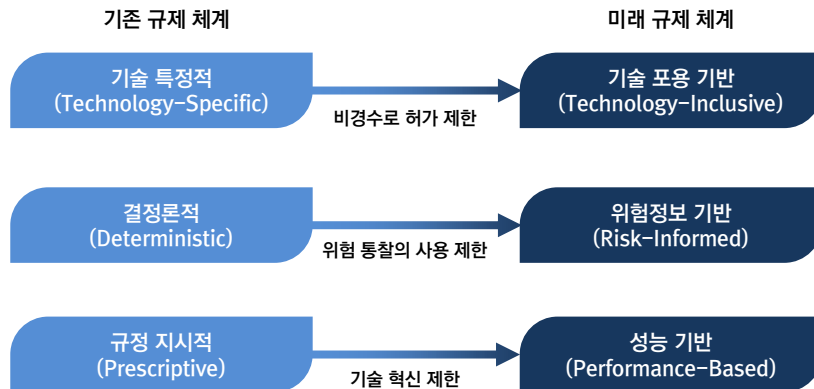
III. 미국 정부의 SMR 지원 법안

4세대 SMR을 위한 '10 CFR Part 53' 규칙 개발: 2024.10 초안 발표, 2027년 최종 규칙 발행 계획

■ US NRC의 '10 CFR Part 53' 규칙 개발 로드맵의 주요 특징:

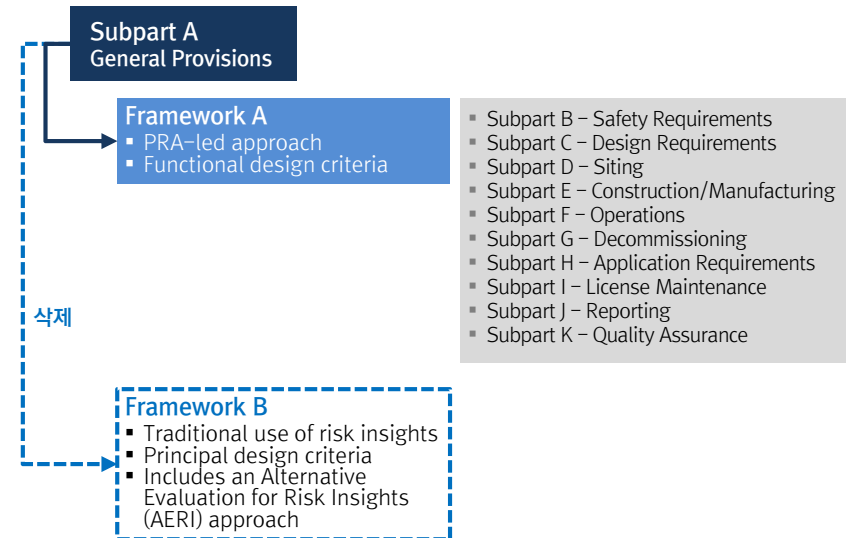
- 1) 기존 인허가 규제는 PWR을 기반으로 적용되어 왔음. 4세대 SMR의 각 기술별로 다른 규칙 적용
- 2) TI-RIPB(Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance Based Methodology) 기술 포용 및 위험정보, 성능 기반 방법론 적용
- 3) Framework A: 기존 인허가 규제와 달리 Subpart별 인허가 단계별로 사전에 주요 기술, 규칙 현안들에 대한 논의 및 해결 가능
- 4) Framework B 삭제: 원자로 기술과 관계없이 모든 원자로에 동일한 규제 방식을 적용하는 규제 프레임워크라고 판단하여 삭제

기존 규제와 '10CFR part 53'의 유연한 규제체계 변화 요구



자료: American Nuclear Society Standards(2024), 대신증권 Research Center

'10CFR part 53'의 규제체계(Framework) 개발 로드맵



자료: US NRC(2022), 대신증권 Research Center

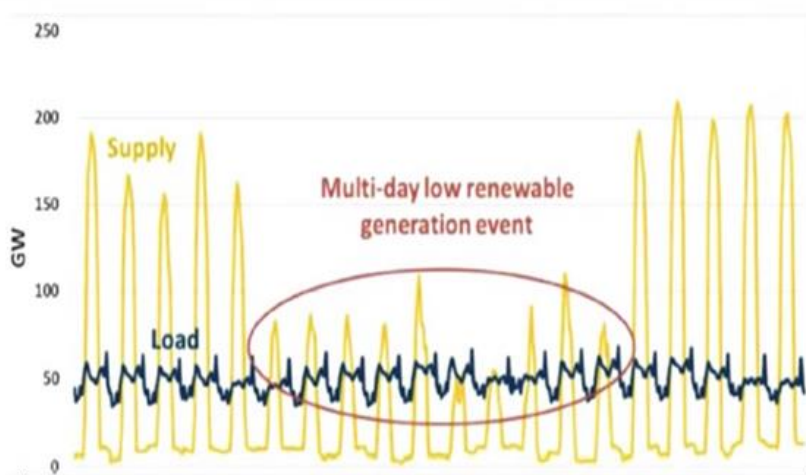
IV. SMR의 경제성

IV. SMR의 경제성

재생에너지의 LFSCOE 상승: 재생에너지의 간헐성, 지리적 편중, 낮은 가동률 등의 문제로 인한 비용 증가

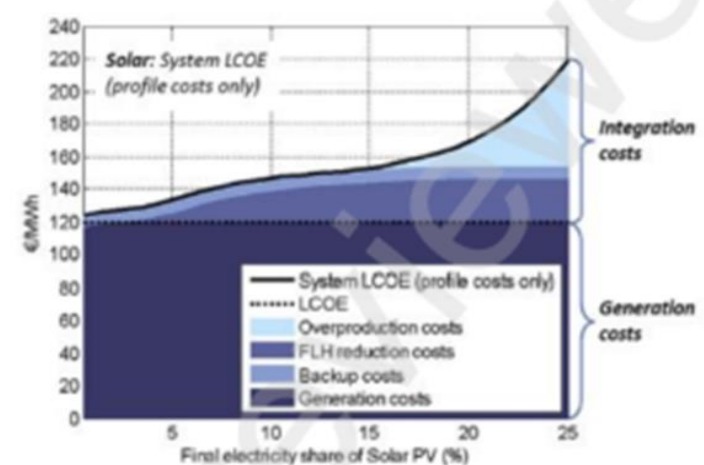
- LCOE는 단순 단위 발전비용으로, 발전소 건설과 관련된 제반 자본비용, 연료비, 운영유지비용 및 내재화된 환경비용, 계통접속비용(사업자 지불) 등만 반영, 발전믹스 등은 고려되어 있지 않음
- 전력시장은 여름철 냉방수요, 겨울철 난방수요 등으로 인해 잠깐동안 수요 변동이 커짐. 그로 인해 기존에도 15 ~ 20%의 적정 설비 예비율 존재
- 시스템통합 비용(Integration Cost)의 고려 필요성이 제기: 에너지 안보, 사고위험 등을 감안한 적정 클린에너지 비중 재고려
- 재생에너지는 낮은 가동률 문제(태양광 20%, 육상 풍력 30%, 해상 풍력 40% vs. 원자력 90%), 하루간/계절적 간헐성 문제, 지리적 자원 편중 문제 등으로 발전비중 확대는 시스템통합 비용 증가로 귀결 → 태양광의 경우, 발전믹스 비중 20% 이상 상승 시, 잠깐 동안의 수요에 대응하기 위해 대규모 과잉 설비 증설 필요 → 시스템 통합비용 급상승

태양광 발전 vs. 수요 부하 (미국 캘리포니아)



자료: fereidoon sioshansi(2021), 대신증권 Research Center

태양광의 발전비중별 System LCOE 변화 (독일)



자료: Ueckerdt et al. (2013), 대신증권 Research Center

IV. SMR의 경제성

텍사스 지역 발전믹스 95% LFSCOPE: 태양광 177달러/MWh > 원자력 96달러/MWh

- LFSCOPE = LCOE(발전소 단위 비용) + 주)시스템통합비용(백업비용, 균형비용, 계통비용 등으로 구성되며, 현재 전력시스템 운영자가 부담)
- 예1) 텍사스 지역의 태양광 LCOE(이용률 23%) 36달러/MWh < 원자력 LCOE(이용률 90%) 82달러/MWh vs. 단일 발전원으로 발전비중 95%를 채웠을 경우: 태양광 LFSCOPE 177달러/MWh > 원자력 LFSCOPE 96달러/MWh
- 예2) 캘리포니아 탄소중립 시나리오 하에서 가변 재생에너지 및 스토리 비용은 원자력이 없을 경우 129 ~ 150달러/MWh vs. 원자력 있을 경우 80 ~ 94달러/MWh로 하락
- 일정 수준의 발전믹스는 재생에너지가 아닌 청정에너지로 채워야 할 필요성 존재 → 보조금(ITC, PTC) 없이 원자력의 LCOE가 60 ~ 70달러/MWh까지 하락하지 못 하더라도 원자력이 필요한 경제적 이유

에너지원별 LCOE vs. 독일/미국(텍사스) LFSCOPE

(US\$/MWh)	LCOE (평균값) (2020년 미국 기준)	LFSCOPE(평균값)			
		독일		미국 텍사스	
발전비중	단순비교	95%	100%	95%	100%
Biomass	95	90	104	95	117
Coal (USC)	76	67	78	72	90
Natural Gas CC	38	31	35	32	40
Natural Gas CT	67	36	39	37	42
Nuclear	82	90	106	96	122
Solar PV	36	849	1,548	177	413
Wind	40	279	504	131	291
Wind & Solar	-	220	454	97	225

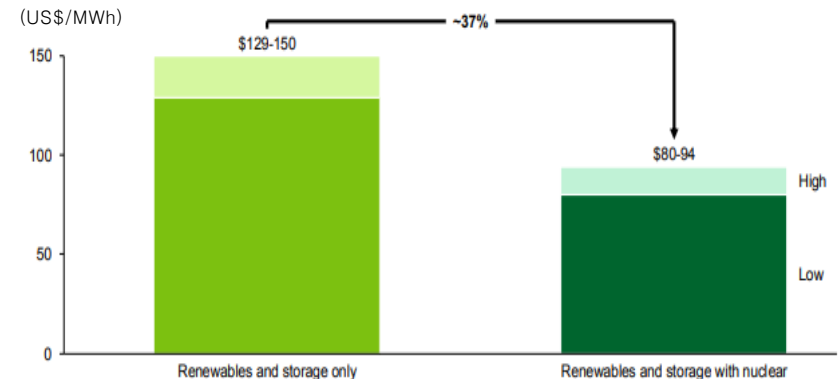
주1: 백업비용(Backup Cost): 재생에너지의 발전량이 계획에 미치지 못하는 경우 이를 보완하기 위한 발전 설비투자 및 운영비용을 의미

주2: 밸런싱 비용(Balancing Cost): 재생에너지의 불확실성으로부터 유발되는 비용, 재생에너지의 변동성에 대응하기 위한 예비력 자원 필요

주3: 계통 비용(Grid Cost): 재생에너지설비를 수용하기 위한 망보강을 포함한 계통 설비 투자비용

자료: Robert Idel(2022), 대신증권 Research Center

미국 캘리포니아 탄소중립 시나리오. 원전 유무에 따른 가변 재생에너지/스토리 비용 차이



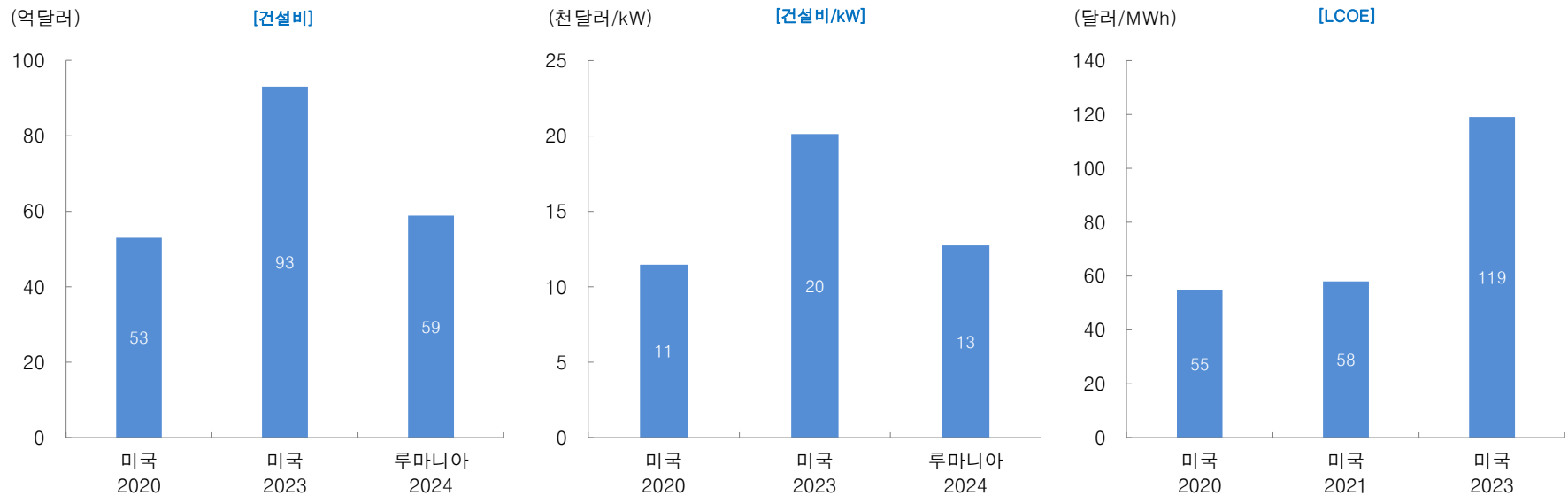
자료: DOE(2024), Baik etc.(2021), 대신증권 Research Center

IV. SMR의 경제성

NuScale의 미국 CFPP 프로젝트: 건설비용 증가로 취소 → SMR의 경제성 우려 발생

- CFPP(Carbon Free Power Project)는 NuScale의 미국 최초 SMR 프로젝트
- 프로젝트 디벨로퍼는 UAMPS(Utah Associated Municipal Power System; 유타주 발전사업자 연합)가 프로젝트 건설비용 증가 및 LCOE 상승으로 프로젝트 취소 → SMR의 경제성 우려 발생
- 2023년에 발표된 루마니아 RoPower 프로젝트의 건설비용은 크게 증가하지 않음
- 미국은 원자력 건설 공급망 부족, 높은 인건비 등으로 추정 건설비용 증가가 커졌던 것으로 판단

NuScale의 시기별/프로젝트별 건설비, LCOE



주: 건설비는 ARDP 13.5억달러 포함. LCOE는 투자세액공제(ITC) 미반영

자료: NuScale, 언론보도 정리, 대신증권 Research Center

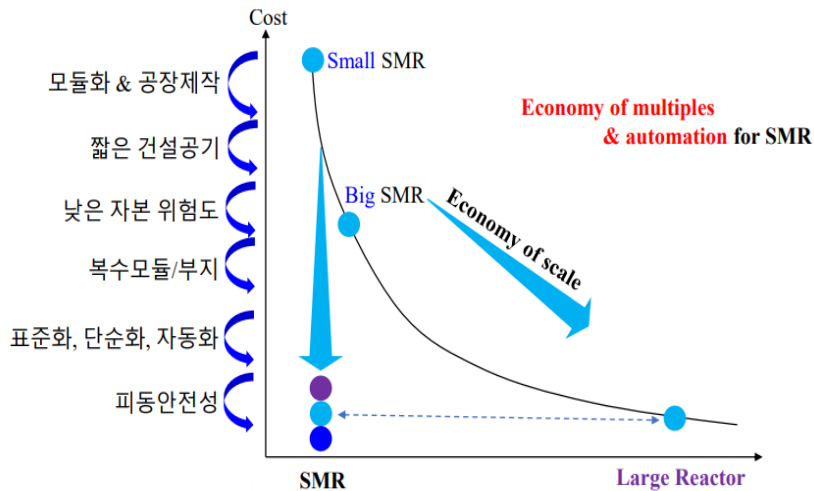
IV. SMR의 경제성

SMR의 일반적 경제성 확보 방안: 규모의 경제(대형 원전)가 아닌 표준화/대량양산을 통한 가격 하락

- 모듈화 & 공장제작: 모듈화 80%에 도달할 경우 300MWe 기준 SMR의 건설비용은 45% 절감 가능(약 5,470 USD/kW 수준)
- 건설공기 단축, 자본비용 축소, 기자재 표준화/단순화/자동화, 피동안전성(압력펌프 미사용 등 기자재 간소화) 등을 통해 달성
- ㉞ NOAK는 FOAK 건설 이후 대형원전은 6기 이상, SMR은 12 ~ 30기(모듈 기준)로 알려져 있음

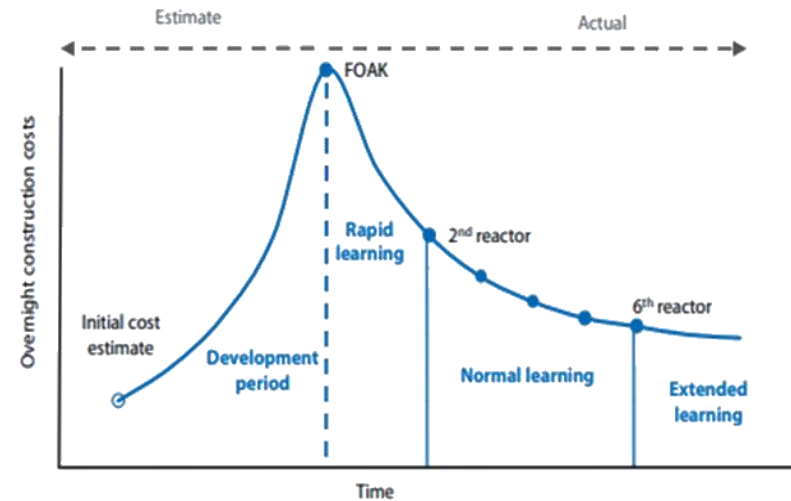
주: FOAK(First of a Kind): 새로운 원자로 기술이 최초로 건설 및 상업 운영되는 프로젝트. 새로운 기술 적용으로 높은 비용 증가와 리스크, 공기 지연을 수반
NOAK(Nth of a Kind): 새로운 원자로 기술이 N번째 상업 운영되는 프로젝트. 학습비용 및 리스크가 안정화된 프로젝트

대형 원전 vs. SMR의 경제성 확보를 위한 주요 요소 비교



자료: NEA(2024), KIST, 대신증권 Research Center

대형 원전의 FOAK와 NOAK 건설비 변화



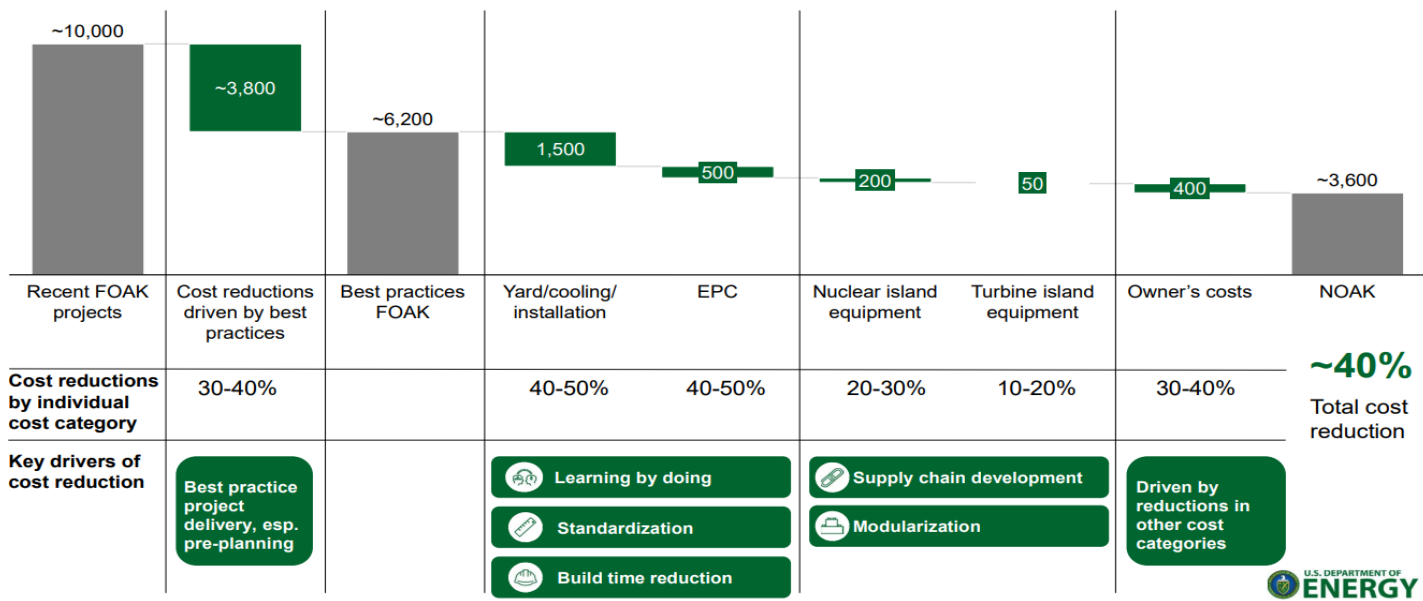
자료: 산업자료, 대신증권 Research Center

IV. SMR의 경제성

미국 에너지청(DOE)의 SMR의 LCOE 가격 하락 전략

- 미국 정부는 SMR의 FOAK 추정 건설비(Overnight Cost)를 현재 10,000달러/kW 이상에서 Best Practice 6,200달러/kW, 궁극적으로 NOAK 3,600달러/kW(한국의 APR1400 건설단가 수준) 이하로 낮출 계획
- ARDP & ITC를 통해 ^{주)}Best Practice의 FOAK 건설비용 축소: 선도적인 SMR 기술을 선정, 개발 및 실증 지원을 통한 초기 건설비용 감축
- NOAK의 비용 축소 방법: EPC 2,000달러/kW(반복 학습, 표준화, 공기 축소 등), 기자재 250달러/kW(공급망 구축 모듈화 등), 개발자의 관리/운영 비 400달러/kW 감소 목표

미국의 SMR 건설비(Overnight Cost, \$/kW) 축소 계획



주: Best Practice는 새로운 기술을 선도하는 프로젝트로 새로운 기술의 성공 가능성을 높이기 위한 안전하고 효과적인 가이드라인 제공
 자료: DOE(Department of Energy) 2023, 대신증권 Research Center

IV. SMR의 경제성

DOE 계획: SMR FOAK의 ITC 적용 LCOE 92달러/MWh → NOAK의 ITC 미적용 LCOE 76달러/MWh

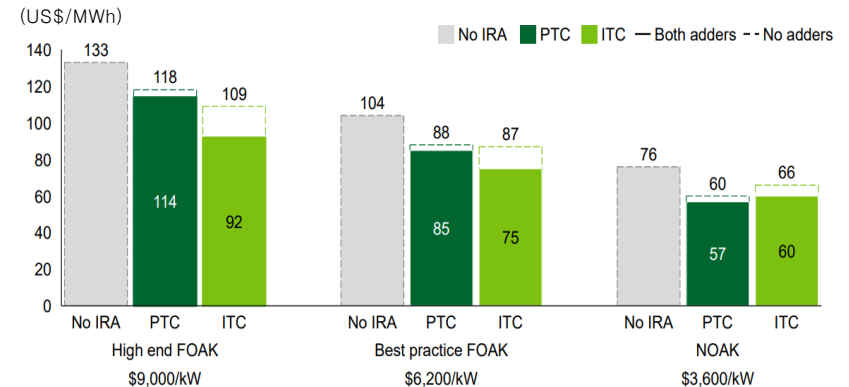
- 1) SMR 상업가동 첫 호기(FOAK)의 ITC 적용 LCOE(32년 이전 준공) 목표: 92 ~ 109달러/MWh (건설가격 9,000달러/kW)
- 2) 기술 선도적인 SMR의 Best Practice FOAK의 TC 적용 LCOE 목표: 75 ~ 87달러/MWh (건설가격 6,200달러/ kW)
- 3) 중장기 NOAK의 ITC 미적용 LCOE 목표: 76달러/MWh (건설가격 3,600달러/kW, 현재 한국의 대형 원전 건설비용 수준)
- 4세대 SMR은 비수냉식을 통한 고유안전성 강화, 기자재 간소화(압력 펌프 미사용 등), 핵연료 및 열 효율 향상, 전력 생산 이외 부산물로 고온의 열 판매, 사용후핵연료 처리비용 축소 등을 통해 추가적으로 경제성 향상 가능

미국의 SMR 건설비(Overnight Cost) 구성 변화 전망

(달러/W)	건설비(Best practices)			비중		비용 감소율
	FOAK1	FOAK2	NOAK	FOAK1	NOAK	
Total	10,000	6,200	3,550	100%	100%	-43%
Direct Cost		2,300	1,650	37%	46%	-28%
Owner's Cost		1,200	800	19%	23%	-33%
Nuclear Island Equipment		800	600	13%	17%	-25%
Turbine Island Equipment		300	250	5%	7%	-17%
Indirect Cost		3,900	1,900	63%	54%	-51%
EPC Management		1,000	500	16%	14%	-50%
Yard/Cooling/Installation		2,900	1,400	47%	39%	-52%

자료: DOE(Department of Energy) 2023, 대신증권 Research Center

미국 PTC & ITC 반영한 SMR LCOE 전망



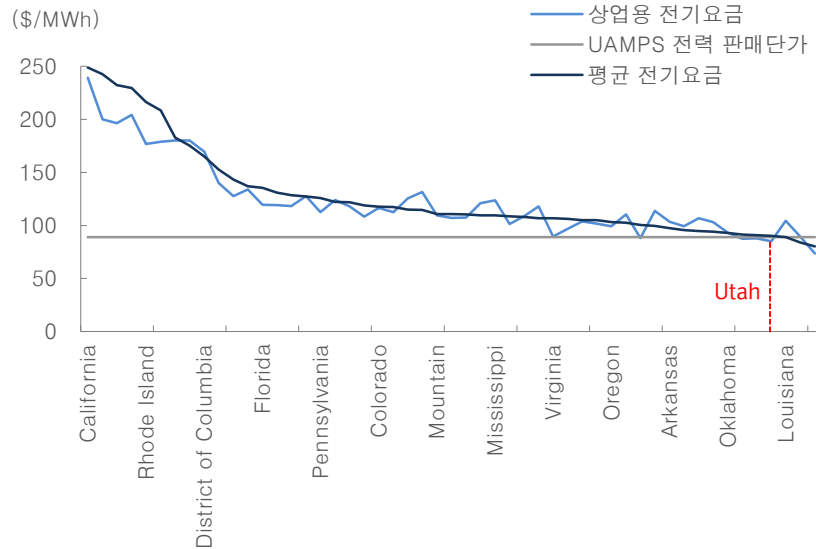
자료: DOE(Department of Energy) 2023, 대신증권 Research Center

IV. SMR의 경제성

SMR의 LCOE + 적은 전력망 비용 ≤ SMR PPA 지역 상업용 전기요금 ≤ 해상풍력 LCOE + 높은 전력망 비용

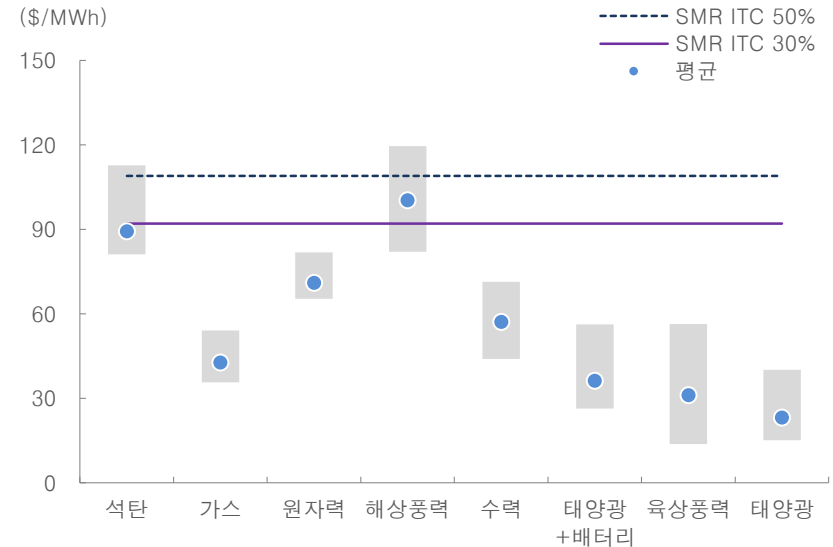
- NuScale의 취소된 프로젝트인 UAMPS의 ITC 적용 LCOE는 89달러/MWh vs. 주요 전력판매 지역인 Utah의 2022년 평균 및 상업용 전기요금은 각각 90달러/MWh, 85달러/MWh로 전기요금이 낮은 지역, 전력 구매자도 32개 지자체들(전력고객 1만호 이하 산간지역) → 경제성 확보 불가능
- 최근 빅테크가 SMR PPA를 체결한 Texas, Washington, Virginia, Ohio 등지의 '23년 상업용 전기요금은 90 ~ 115달러/MWh, 기존 원전 및 석탄 발전 부지에 SMR 설치를 통해 전력망 비용이 적음, 빅테크의 안정적인 대규모 전력공급 필요, 미국 전기요금 상승 등을 감안 → 경제성 확보 가능
- 추가적인 비용 상승이 없을 경우, 첫 상용 SMR의 ITC 적용 LCOE 92 ~ 109달러/MWh임. 해상풍력의 ITC 적용 평균 LCOE 82 ~ 120달러/MWh와 유사. 해상풍력은 대규모 전력망 투자가 필요한 점을 감안 시 → 안정적인 클린에너지 공급이 필요한 빅테크 입장에서는 SMR이 더 유리

미국의 지역별 평균 및 상업용 전기요금 vs. UAMPS LCOE



자료: EIA, 언론보도, 대신증권 Research Center

미국 에너지원별 및 SMR(FOAK)의 ITC 적용 LCOE (2023년)

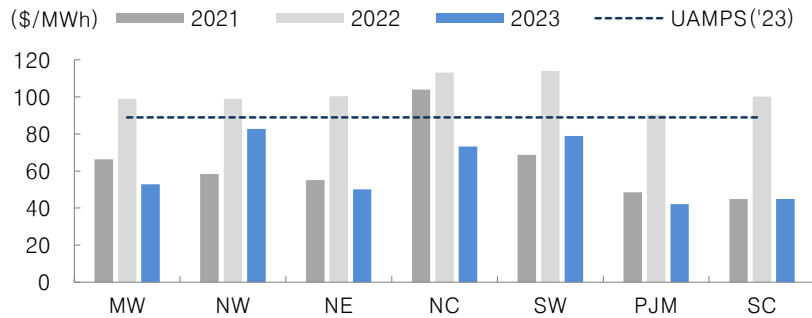


자료: EIA_AEO(2023), 언론보도, 대신증권 Research Center

IV. SMR의 경제성

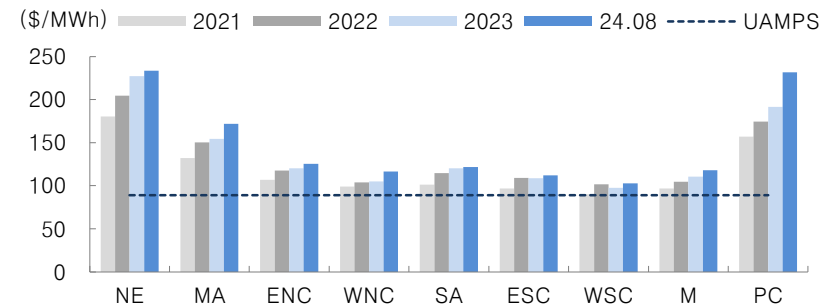
- 미국은 주로 선도거래를 통해 전력공급 계약이 이루어지며, 현물시장은 지역별 전력도매/소매요금이 다르며, 가스가격에 따라 가격 변동
- 미국 소매 전기요금은 가스가격이 상승하고 있지 않음에도 2021년 이후 매년 상승 지속
- SMR은 투자금액이 늘어날 수록, 대량 양산, 생산효율 개선, 학습비용 감소 등으로 2045년 이후 \$3,000/kW, \$50/MWh 이하로 하락 전망

미국 전력도매 현물가격 추이 및 UAMPS LCOE



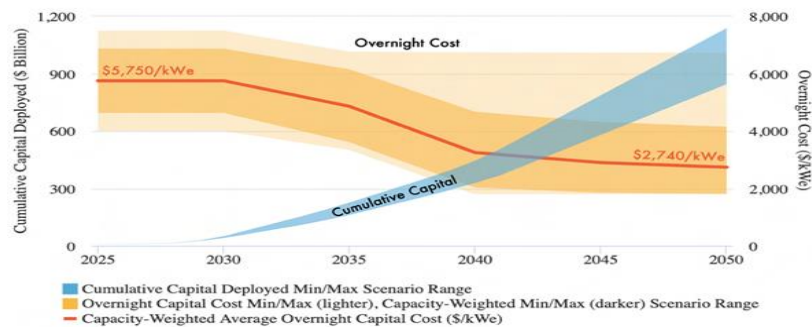
자료: EIA, 대신증권 Research Center

미국 전력소매가격 추이 및 UAMPS LCOE



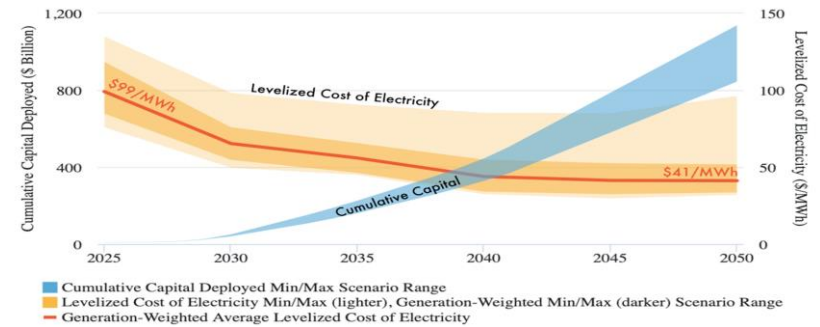
자료: EIA, 대신증권 Research Center

미국 SMR의 누적 투자금과 건설비(Overnight Cost) 전망



자료: Break Through Institute, 대신증권 Research Center

미국 SMR의 누적 투자금과 LCOE 전망



자료: Break Through Institute, 대신증권 Research Center

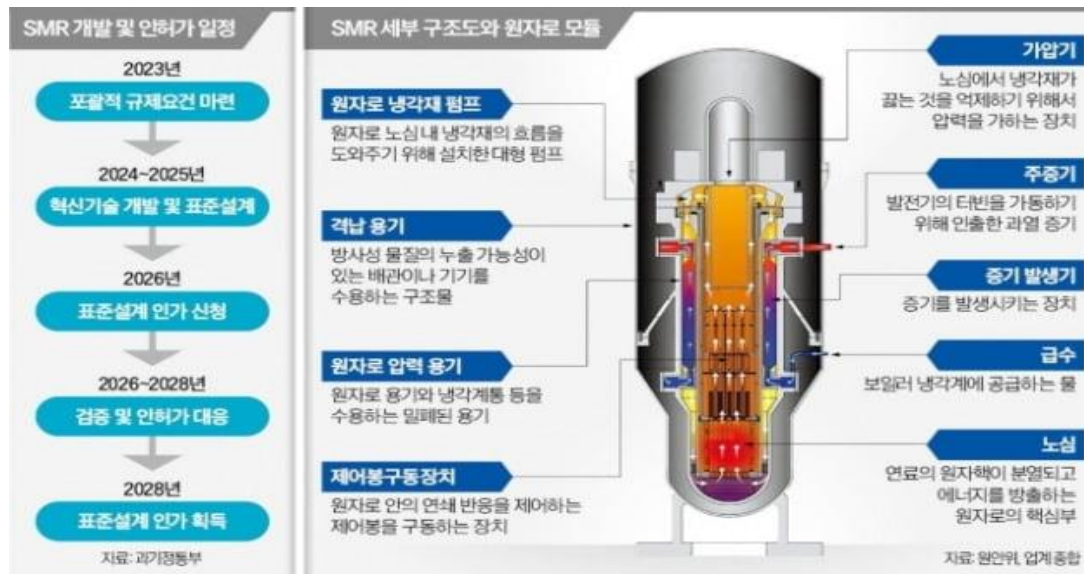
V. 국내 SMR 개발 및 글로벌 제조 경쟁력

V. 국내 SMR 개발 및 글로벌 제조 경쟁력

국내 i-SMR(3.5세대 혁신형 SMR) 개발 현황

- SMART(100MW): 캐나다 CNL 부지 프로그램을 통한 첫호기 건설 및 앨버타 오일샌드 탄소제로 증기 공급 플랜트 진출 추진 중
- BADI-60S(60MW): ^주블록형 소형 원자로 개발 사업(사용분야: 해양 및 오지 전력 공급, 담수, 열생산 등), 노형개발 주체는 한전기술
- i-SMR(3.5세대 혁신형 SMR, 170MW), 기존 SMART 대비 안전성 강화, 모듈화, 경제성 향상
- 한국은 2028년까지 iSMR의 핵심기술 개발, 표준설계 인허가 취득, 2032년 이전 첫 호기 가동, 2035년까지 4개 호기 가동 목표
- 민관 공동 개발(개발비 3,992억원: 정부 2,747억원, 민간 1,245억원), 사업화 기관인 'i-SMR 홀딩스' 를 설립하여 지적재산권 관리 목표

i-SMR 개발 및 인허가 일정, 세부 구조도



주: 블록형: 원자로와 증기발생기를 대형배관 없이 노즐로 연결

자료: 과학기술정보통신부, 원자력안전위원회, 언론 보도, 대신증권 Research Center

V. 국내 SMR 개발 및 글로벌 제조 경쟁력

K-ARDP: 4세대 SMR의 빠른 상용화를 위해 민·관 합동 기술개발 및 실증 지원 프로그램

- 한국형 차세대 원자로 1) 기술개발 및 실증 신속화 지원 사업, 2) 실증사업의 2개 예타 사업으로 구성
- '26 ~ '34년(9년) 투자규모: 총 2조 4,810억원(정부지원 1조 6,490억원, 민간 매칭 8,320억원)
- 안전규제체계: 1) i-SMR 규제체계 구축, 2) 비경수로 규제 준비(신규 규제 R&D('25~'33)를 통해 '30년대 초까지 규제기술 단계적 확보)
- 민·관 공동 차세대 원자로 설계역량 고도화 → 민간 주도 사업화(2개 이상의 민간 설계기업 확보) → 어떤 기업이 선택될 것인가?
- 선진국 대비 4세대 SMR 개발 늦음: SMR은 대량 양산을 통해 가격경쟁력이 확보, 선점 효과 등을 감안 시, 빠른 속도로 진행해야 필요로 있음

차세대 원자력 기술개발 및 실증 로드맵 (단기 실증 유형)

	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
혁신형 SMR	★ 기본설계 완료		표준설계 (5년)					산업부 계획 등에 따라 상용로 건설						
			★ 표준설계 완료		★ 표준설계인가 획득									
소듐냉각 고속로	계통 개념 개발		기본 설계(4년)					상세 설계 및 건설 (5년)					운영전 시험 (3년)	
			부지 조사 및 건설 허가 준비			★부지 선정		건설허가 신청 ★		건설		★ 건설완료/운영허가		★ 시운전 개시
고온 가스로			기본 설계 (4년)				상세 설계 및 건설 (6년)						운영전 시험 (3년)	
			부지 조사 및 건설 허가 준비			★부지 선정		건설허가 신청 ★		건설		★ 건설완료/운영허가		★ 시운전 개시

주: 단기 실증 유형까지만 반영, 향후 중장기 전략 유형인 용융염 원자로(MSR, 해양/선박용), 히트파이프 원자로(HPR, 군사/우주용)는 추후 로드맵 결정

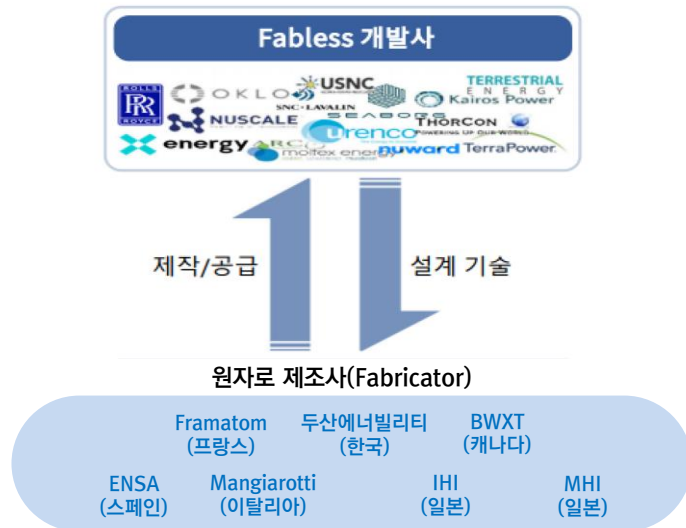
자료: 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 대신증권 Research Center

V. 국내 SMR 개발 및 글로벌 제조 경쟁력

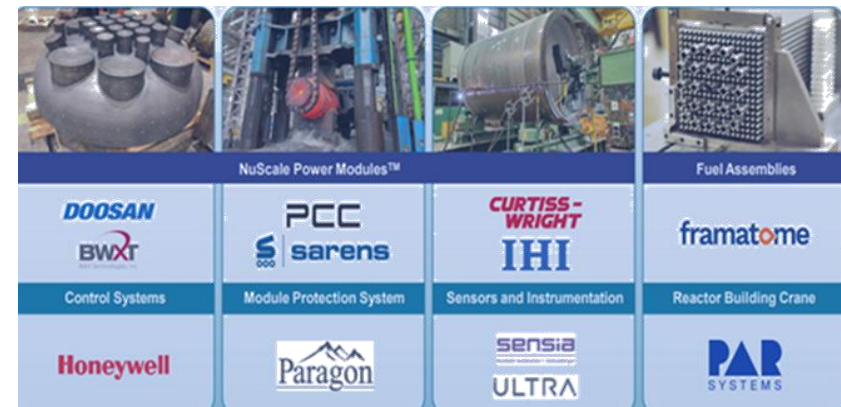
글로벌 SMR 제작사 80여개 vs. 원자로 제작사 7개

- 글로벌 SMR 설계업체(Fabless 개발사)는 80여개 vs. 원자로 제작사는 7개(한국 1개, 일본 2개, 캐나다 1개, 유럽 3개)
- NuScale은 초기에는 각 핵심설비 당 1 ~ 2개의 벤더 후보 선정했으나, 초기에는 1개 벤더로부터 공급받을 예정
- SMR은 표준화, 대량양산 등 공장 제작을 통해 원가를 낮추려고 하고 있는 점을 감안 시, 대규모 제조 설비와 레퍼런스를 확보하고 있는 원자로 제작사에 집중될 수 밖에 없을 전망
- 두산에너지빌리티는 NuScale과 X-Energy의 지분 일부를 보유하고 있으며, 원자로, 증기발생기 등 핵심 주기기 제조를 담당할 계획임. 현재 총 15개 글로벌 SMR Fabless 개발사와 사업 추진 중. 이 중 NuScale, X-Energy 이외 1개와 계약 성공

글로벌 원자로 제조 가능 업체 현황



NuScale의 VOYGR Supply Chain 현황



주:IHI(Ishikawajima-Harima Heavy Industries), MHI(Mitsubishi Heavy Industries), GEH(GE Hitachi Nuclear Energy)

자료: 두산에너지빌리티, IAEA, 대신증권 Research Center

자료: NuScale, 대신증권 Research Center

VI. 투자전략

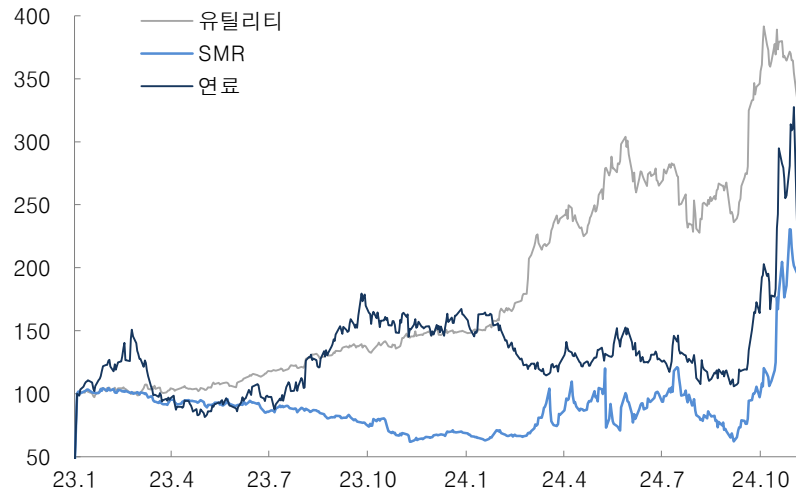
VI. 투자전략

'24년 미국은 SMR 시장 개화 모멘텀 시작, '25년 한국도 K-원전의 해외 진출 + SMR 공급망 모멘텀 시작

- 2024년부터 빅테크의 대형 원전 이외 SMR 전력 공급 계약 시작. SMR은 1) 7월 바이든 대통령의 'ADVANCE Act' 서명으로, SMR 설치 확대를 위한 지원 프로그램 및 인허가 규제 완화 관련 전방위 포괄적인 법적 근거가 마련되었으며, 2) 2032년까지 준공되어야 최대 30 ~ 50%의 투자세액공제(ITC)를 받을 수 있어, 3) 글로벌로 다양한 SMR들의 첫 상용호기는 2026/27년 건설허가 승인, 2029/30년 준공을 목표로 하고 있기 때문
- 2034년까지 준공 시에도 22 ~ 42%의 투자세액공제를 받을 수 있으며, SMR의 목표 건설기간은 건설허가(설비 착공) 이후 3년인 점을 감안하면, 향후에도 다수의 전력공급계약이 체결될 전망. 주기기는 착공 2 ~ 3년 전부터 제작되는 점을 감안 시, 2025/26년부터 주기기 발주 시작 예상
- 2024년 들어 미국 원자력 유틸리티 및 SMR, 핵연료 업체들의 성장성이 부각되며 주가 상승 지속. 한국 원자력 업체도 체코 원전 우선사업자 선정이 선반영되어 상승했으나, 7월 우선사업자 선정 이후에는 높은 밸류에이션 부담 등으로 부진하다가, 10월 들어 재상승 시도 중

미국 원자력 밸류체인 주가 추이

(2023.01 = 100)

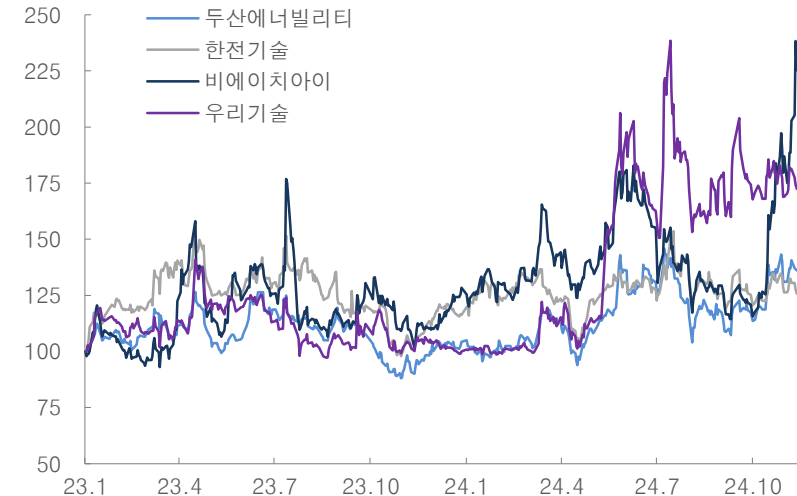


자료: Factset, 대신증권 리서치센터

주: 유틸리티 = CEG, VST, BWXT / SMR = SMR, OKLO / 연료: LEU

국내 원자력 밸류체인 주가 추이

(2023.01 = 100)



자료: Quantiwise, 대신증권 Research Center

VI. 투자전략

Top picks: [한국] 두산에너지빌리티, [미국] 뉴스케일 파워, 센트러스 에너지

- 한국은 대형 원전의 개발 및 건설 경쟁력은 글로벌 선두그룹에 있음은 입증되었음. 다만, SMR은 정책 지원, 기술 개발 속도, FOAK 건설 시기 및 시장규모 등이 미국 대비 뒤쳐져 있는 것은 사실임. 그러나 2025년부터 K-원전의 해외 원전 수주 확대와 함께 글로벌 SMR 제조 경쟁력 부각 예상
- [한국] 두산에너지빌리티의 SMR 주기기 제조부문은 글로벌 3.5세대 이외 4세대 SMR 선도 Fabless에 주기기를 공급하기로 되어 있으며, 향후에도 Fabless 고객사가 확대될 전망. 2025년 이후 K-원전의 해외 수주 확대, 글로벌 SMR 주기기 제조사로 성장 및 주가 재평가 기대
- [미국] 뉴스케일 파워는 가압경수로 기술에 기반하고 있어 SMR 기업들 중에서 가장 빠르게 표준설계인가를 받을 전망. 이는 AI 데이터센터용 전력 공급 등의 프로젝트 수주에 유리한 위치에 설 수 있을 것으로 기대. 센트러스 에너지는 러시아산 LEU 수입 금지 정책을 필드로 LEU 및 HALEU 생산 등 중기적으로 미국의 대형 원전 수명 연장 및 3.5세대/4세대 SMR 설치 확대, 핵연료 국산화 수혜 예상

한국 및 미국 원자력 기업 Valuation

(십억원, 백만달러, 배)

	구분	종목명	티커	시가총액	매출액				영업이익				PER			
					2023	2024F	2025F	2026F	2023	2024F	2025F	2026F	2023	2024F	2025F	2026F
한국	주기기/BOP	두산에너지빌리티	034020	13,996	17,590	15,529	16,312	17,292	1,467	987	1,121	1,335	183.0	45.3	45.0	30.8
	설계	한전기술	052690	2,568	545	561	600	642	29	38	45	54	72.7	63.5	55.4	48.2
	BOP	비에이차이	083650	459	367	380	473	568	15	23	32	40	30.4	23.5	13.8	10.5
	MMIS	우리기술	032820	345	63	56	-	-	6	-3	-	-	38.8	-	-	-
미국	유틸리티	콘스텔레이션 에너지	CEG	70,147	24,918	22,441	23,024	23,756	1,963	3,612	3,841	4,099	21.0	29.3	26.7	24.8
		비스트라 에너지	VST	48,363	14,779	17,236	19,540	20,435	2,686	2,902	3,726	4,228	10.5	32.5	21.3	17.4
	SMR 설계	BWX 테크놀로지스	BWXT	11,545	2,496	2,674	2,820	3,039	383	404	437	496	25.4	38.8	36.5	31.9
		뉴스케일 파워	SMR	5,876	23	17	77	173	-276	-171	-158	-138	-	-	-	-
		오클로	OKLO	2,423	0	0	0	0	-55	-53	-60	-73	-	-	-	-
	원료	센트러스 에너지	LEU	1,150	320	402	420	435	52	30	54	52	10.0	27.7	25.1	24.9

주: 시가총액 및 PER은 2024.11.15 주가 기준. 실적 단위 기준은 한국 기업은 십억원, 미국 기업은 백만달러
자료: Quantiwise, Bloomberg, 대신증권 Research Center

VII.기업 분석

두산에너지(034020)

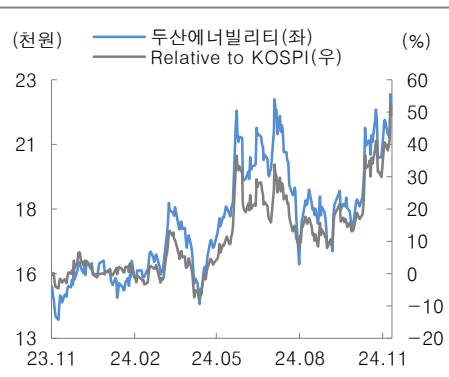
2025년 K-원전, 가스터빈에 글로벌 SMR을 더하다

투자 의견	BUY 매수, 유지
목표주가	30,000원 유지
현재주가 (24.11.15)	21,850원

KOSPI	2,416.86
시가총액	13,996십억원
시가총액비중	0.65%
자본금(보통주)	3,267십억원
52주 최고/최저	22,450원 / 14,320원
120일 평균거래대금	1,809억원
외국인지분율	23.04%
주요주주	두산 외 26 인 30.67% 국민연금공단 6.85%

주가수익률(%)	1W	1M	3M	12M
절대수익률	15.0	20.3	23.7	49.0
상대수익률	25.3	31.6	39.7	53.4

- 2025년 이후 K-원전의 해외 수주 확대, 가스터빈/LTSA 수주증대 이외 SMR Fabless 설계회사 (현재 15개사와 협조, 이 중 3개사와 계약)로부터 주기기 수주 본격화 기대. 글로벌 SMR 주기기 제조사로 성장 및 주가 재평가 기대
- 2H25 NuScale 루마니 VOYGR 6기, 2026년 X-energy의 Dow Chemical Xe-100 4기 등을 시작으로 SMR 주기기 수주 확대가 본격화될 전망. 2030년까지 SMR 모듈 총 60기 수주 예상
- 2023 ~ 2028년 대형 K-원전 11기(신한울 3,4호기, 체코 2기, 폴란드 2기, UAE 2기, 국내 신규 원전 3기)향 주기기 수주 예상. 또한 웨스팅하우스의 AP1000 5기향 원자로 및 증기발생기 수주도 기대
- 대형 원전 주기기는 2기당 2.9 ~ 3.6조원이 8년에 걸쳐서, SMR 주기기는 1기당 0.1조원이 5년에 걸쳐 인식. 에너지부문의 2030년 매출액 11.9조원(원자력 및 가스발전 기자재, 서비스 매출비중 51%), 영업이익 1조원, 영업이익률 8.4% 전망(밥캣 등 자회사로부터의 배당금 제외)



	2022A	2023A	2024F	2025F	2026F
매출액	15,421	17,590	15,529	16,312	17,292
영업이익	1,106	1,467	987	1,121	1,335
세전이익	-186	738	862	822	1,055
총당기순이익	-453	518	561	611	785
지배지분순이익	-772	56	295	297	434
EPS	-1,247	87	460	464	677
PER	-12.4	183.0	45.3	45.0	30.8
BPS	11,481	11,120	11,610	12,113	12,831
PBR	1.3	1.4	1.9	1.8	1.7
ROE	-11.7	0.8	4.1	3.9	5.4

주: EPS와 BPS, ROE는 지배지분 수치 기준
자료: 두산에너지, 대신증권 Research Center

두산에너지빌리티(034020)

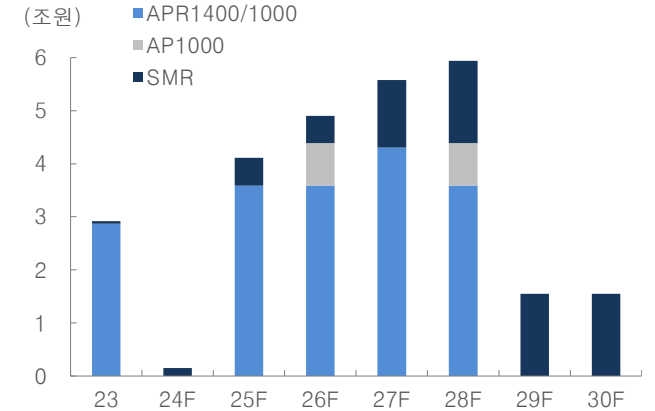
글로벌 SMR 주기기의 주요 제작사로서 성장 잠재력 재평가 필요

두산에너지빌리티의 중장기 분야별 수주금액 및 영업실적 추이 및 전망

(단위: 십억원, %)	2024F	2025F	2026F	2027F	2028F	2029F	2030F
수주금액	6,297	12,241	11,117	12,179	12,548	8,747	8,754
원자력	420	6,570	5,186	5,867	6,236	1,854	1,860
가스/수소	3,777	3,771	4,031	4,412	4,413	4,793	4,794
신재생	200	0	0	0	0	200	200
기타	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900
수주잔고	15,260	20,370	23,730	27,308	30,055	27,962	24,830
매출액	6,884	7,131	7,757	8,601	9,802	10,840	11,886
원자력 기자재	760	1,188	1,590	2,356	3,228	4,015	4,661
APR	144	452	718	1,227	1,722	2,217	2,569
AP1000	0	0	24	40	120	160	232
SMR	40	142	237	465	749	988	1,198
단품 등	577	594	612	624	637	649	662
가스발전 기자재 및 서비스	486	707	956	977	1,151	1,303	1,403
주기기설비	215	429	674	667	819	940	1,001
LTSA	3	10	14	42	64	94	132
단품 등	268	268	268	268	269	269	269
EPC/기타	5,638	5,236	5,211	5,268	5,423	5,522	5,822
영업이익	156	215	365	510	697	879	1,003
EBITDA	287	345	502	655	850	1,040	1,172
당기순이익	116	67	181	299	433	587	702
중점성장사업 매출비중	18.1	26.6	32.8	38.8	44.7	49.1	51.0
원자력 기자재	11.0	16.7	20.5	27.4	32.9	37.0	39.2
가스발전 기자재 및 서비스	7.1	9.9	12.3	11.4	11.7	12.0	11.8
영업이익률	2.3	3.0	4.7	5.9	7.1	8.1	8.4
EBITDA 마진율	4.2	4.8	6.5	7.6	8.7	9.6	9.9

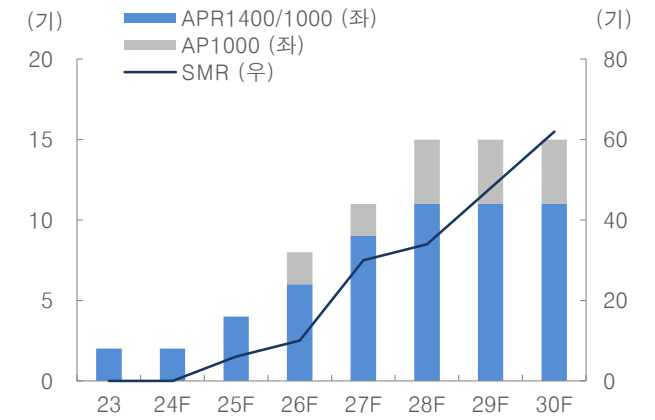
주1: 두산에너지빌리티의 실적은 밥캣, 퓨어셀 등 자회사 실적 제외, 자회사 배당금 750억원 제외
주2: 분야별 수주금액은 각 분야의 기자재 및 공사 수주금액 포함
자료: 대신증권 Research Center

두산에너지빌리티의 원자력 기자재 수주금액 전망



자료: 두산에너지빌리티, 대신증권 Research Center

두산에너지빌리티의 원자력 기자재 수주 누적기수 전망



자료: 두산에너지빌리티, 대신증권 Research Center

한전기술(052690)

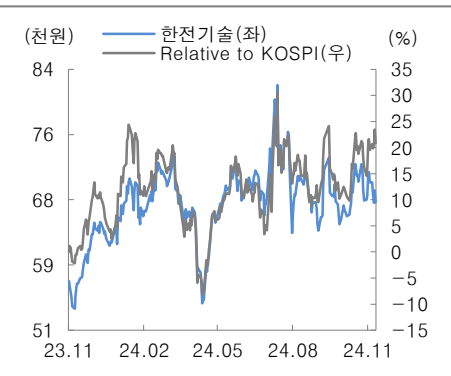
K-원전의 해외 도약 대장주, 한국 i-SMR 설계 시작

투자 의견	BUY 매수, 유지
목표주가	95,000원 유지
현재주가 (24.11.15)	67,200원

KOSPI	2,416.86
시가총액	2,568십억원
시가총액비중	0.12%
자본금(보통주)	8십억원
52주 최고/최저	82,000원 / 54,400원
120일 평균거래대금	251억원
외국인지분율	8.49%
주요주주	한국전력공사 외 1인 53.06% 국민연금공단 8.39%

주가수익률(%)	1W	1M	3M	12M
절대수익률	1.1	-4.7	-1.3	18.9
상대수익률	10.1	4.3	11.5	22.4

- 해양용 블록형 소형 원자로 BADI-60S 노형과 i-SMR의 계통설계를 개발 중. i-SMR의 실증로 연구개발 과제 1,000억원 수주, 관련 수익은 2028년까지 기타 영업외수익에 반영, 2029년 i-SMR 4기 계통설계 수주(수주금액 2,700 ~ 2,800억원 가정) 예상
- 2025년 3 ~ 4월 예상되는 체코 원전 설계의 예상 수주금액은 1.2조원. 향후 해외 원전 설계 수주금액은 APR1000, APR1400 모두 2기당 1조원 예상. 2025년 체코 2기, 2026년 폴란드 폰트 누프 2기(2025년 사업진행 여부 결정), 2028년 UAE 2기(2025년초 입찰 시작, 2027년 사업자 선정 예상) 등 2025 ~ 2028년 해외 원전 6기, 국내 신규 대형 원전 3기(2027년) 수주 전망
- 대형 원전 매출은 12년 동안 발생하며, 수주 후 3년차부터 매출 인식 속도 가속화. 또한 탈원전 정책 폐기 이후 노후 원전에 대한 안정성 및 성능 강화, 계속 운전 등을 위한 투자 확대 전망. 이에 따라 관련 평가 및 엔지니어링 용역, O&M 매출이 꾸준히 증가할 전망. 2030년 매출액 1.05조원, 영업이익 1,760억원, 영업이익률 17% 전망



(십억원, 원, %)	2022A	2023A	2024F	2025F	2026F
매출액	505	545	561	600	642
영업이익	14	29	38	45	54
세전이익	26	44	53	60	69
총당기순이익	18	33	41	47	54
지배지분순이익	18	33	41	47	54
EPS	470	854	1,070	1,230	1,414
PER	116.2	72.7	63.6	55.4	48.2
BPS	14,218	14,320	14,877	15,461	16,136
PBR	3.84	4.3	4.5	4.3	4.2
ROE	3.4	6.0	7.3	8.1	8.9

주: EPS와 BPS, ROE는 지배지분 수치 기준
자료: 한전기술, 대신증권 Research Center

한전기술(052690)

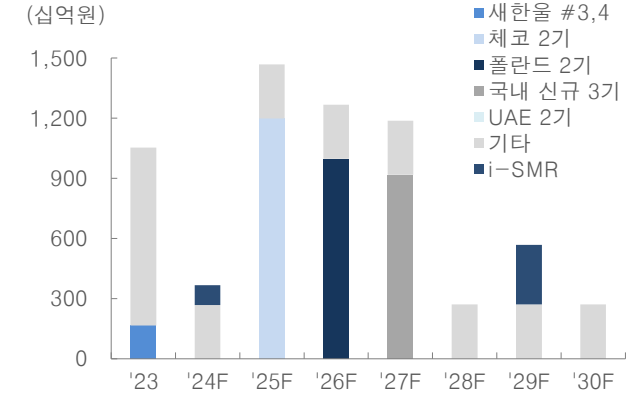
원자력/원자로 설계 매출 확대에 따른 영업레버리지 효과 극대화

한전기술의 중장기 분야별 수주금액 및 영업실적 추이 및 전망

(십억원, %)	2023	2024F	2025F	2026F	2027F	2028F	2029F	2030F
매출액	545	561	600	642	734	843	947	1,051
원자력/원자로	377	431	469	507	595	698	794	887
설계	270	318	345	374	458	557	648	737
O&M	107	113	124	133	137	141	146	150
에너지신사업	168	130	131	135	139	145	153	164
설계	63	36	29	24	19	16	12	11
O&M	6	10	10	11	11	11	11	11
기타	99	83	91	100	109	119	130	142
매출총이익	128	139	148	159	193	226	261	292
영업이익	29	38	45	54	85	116	149	176
금융손익	6	7	6	6	6	7	7	7
기타영업외손익	9	9	9	9	9	9	9	9
지분법손익	0	0	0	0	0	0	0	0
세전이익	44	54	60	69	101	132	165	193
당기순이익	33	41	47	54	78	103	129	150
활동별 매출비중								
원자력/원자로	69	77	78	79	81	83	84	84
에너지신사업	31	23	22	21	19	17	16	16
영업이익률	5.2	6.8	7.5	8.4	11.6	13.8	15.7	16.8
EBITA 마진율	9.2	10.7	11.3	11.9	14.7	16.5	18.2	19.0

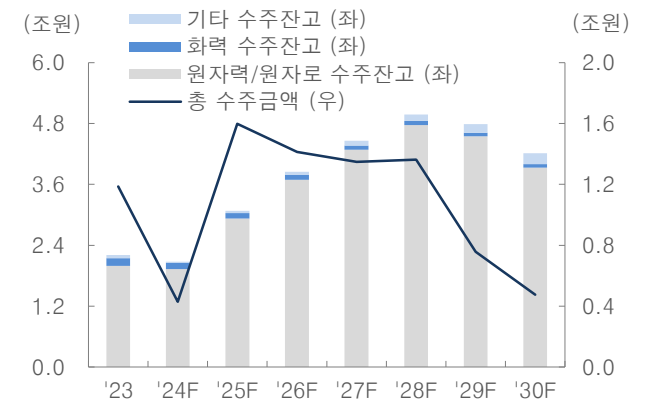
자료: 한전기술, 대신증권 Research Center

한전기술의 원자력/원자로 설계 수주금액 전망



자료: 한전기술, 대신증권 Research Center

한전기술의 수주금액 및 분야별 수주잔고 전망



자료: 한전기술, 대신증권 Research Center

비에이치아이(083650)

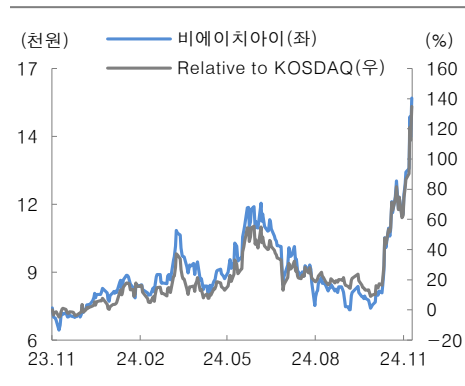
HSRG 다음에 이어받을 대형원전과 SMR향 B.O.P

투자의견	N.R
목표주가	N.R
현재주가 (24.11.15 현재)	14,820원

KOSDAQ	685.42
시가총액	4,586억원
시가총액비중	0.13%
자본금(보통주)	155억원
52주 최고/최저	15,800원 / 6,610원
120일 평균거래대금	172억원
외국인지분율	4.17%
주요주주	박은미 외 7인 40.69%

주가수익률(%)	1W	1M	3M	12M
절대수익률	80.3	77.9	49.2	113.5
상대수익률	103.5	101.6	87.7	152.2

- 석탄 발전소용 보일러, HRS(열회수 증기발생기), 원자력 B.O.P(Balance of Plant)로 사업 부문을 구성. 원자력 B.O.P 부문은 원자력 1차 계통을 제외한 보조기기를 제조 및 납품하는 사업으로, 대형 K-원전 수주 시 두산에너지와 경쟁을 통해 약 50%의 시장 점유율을 확보할 것으로 예상
- 대형 원전 이외에도 한국 i-SMR 사업에서 보조기기 수주 기대. SMART 개발 당시 비에이치아이는 핵심연료취급계통(FHS), 격납건물 압력 및 방사능 저감계통 덮개(CPRSS Ltd) 등을 개발한 바 있음. 2029년 이후 국내 i-SMR 건설 본격화(2032년 ~2035년 4개 호기 건설) 및 해외 진출 성공 시 수혜 기대
- 2024년에는 HRS 사업 부문이 전체 영업실적 성장을 이끌고 있음, 3Q24 도시바향 HRS 2,740억원을 수주하는 등 HRS의 수주가 꾸준한 상황임. 2025년부터 국내 신한울 3, 4호기향 원자력 B.O.P 매출이 발생함에 따라 원자력 부문의 매출이 실적에 본격적으로 기여할 것임



(억원, 원, %)	2022A	2023A	2024F	2025F	2026F
매출액	3,302	3,674	3,806	4,727	5,679
영업이익	81	151	229	324	398
세전이익	-208	30	183	321	419
총당기순이익	-191	75	147	250	327
지배지분순이익	-191	75	147	250	327
EPS	-736	267	474	808	1,056
PER	NA	30.4	23.5	13.8	10.5
BPS	1,897	2,610	2,842	3,643	4,691
PBR	3.4	3.1	5.6	4.3	3.4
ROE	-33.6	12.2	18.2	24.9	25.3

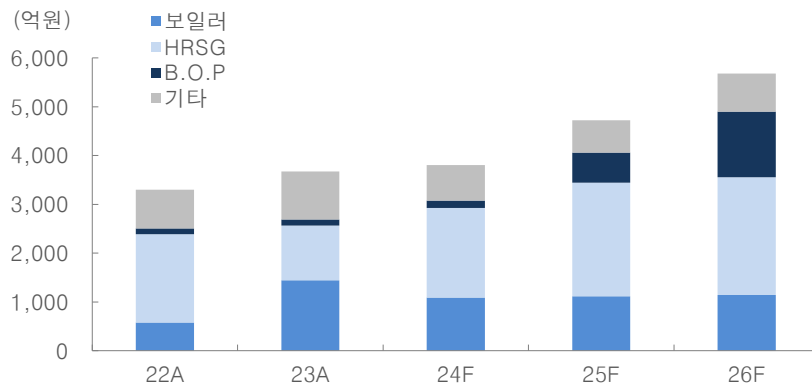
주: EPS와 BPS, ROE는 지배지분 수치 기준,
자료: 비에이치아이, 대신증권 리서치센터

비에이치아이 원자력 B.O.P 사업부



자료: 비에이치아이, 대신증권 Research Center

비에이치아이 부문별 매출액 추이 및 전망



자료: 비에이치아이, 대신증권 Research Center

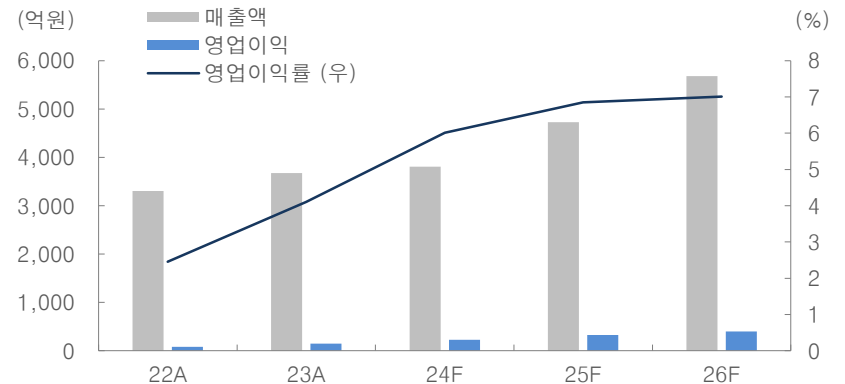
SMR – SMART 사업 개요 및 비에이치아이 개발 제품

BHI 수행 개발 제품



자료: 비에이치아이, 대신증권 Research Center

비에이치아이 연도별 매출액 및 영업이익 추이 및 전망



자료: 비에이치아이, 대신증권 Research Center

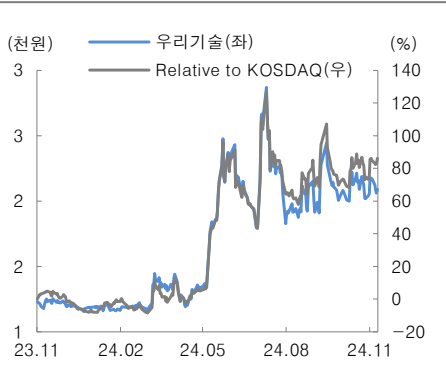
SMR개화와 함께 강화될 MMIS 내 동사의 점유율

투자의견	N.R
목표주가	N.R
현재주가 (24.11.15 현재)	2,170원

KOSDAQ	685.42
시가총액	3,447억원
시가총액비중	0.12%
자본금(보통주)	794억원
52주 최고/최저	3,065원 / 1,268원
120일 평균거래대금	501억원
외국인지분율	1.22%
주요주주	노갑선 외 3인 8.87%

주가수익률(%)	1W	1M	3M	12M
절대수익률	-5.0	5.1	14.0	60.7
상대수익률	7.2	19.1	43.4	89.8

- 동사의 사업부문은 원자력, SOC, 방산으로 구성
- 원자력 부문은 원자력 계측 제어설비인 MMIS DCS로 한국형 원자력 APR-1400 수주 시 수혜를 받는 구조임. 신규 원자력 건설 이외에도 가동 중인 원전의 계측제어와 정비 용역 등으로 연간 250 ~ 500억원의 고정 매출이 발생하는 구조를 보유 중. 신규 대형 원자력의 경우, 대형 원자력 1개 호기당 약 300억원의 수주 금액 예상
- 대형 원자력 MMIS에서 제어계통인 DCS는 동사가 수주하지만, 안전 계통인 PLC는 수산 E&C가 수주하고 있음. 한국 i-SMR의 경우, 동사가 PLC까지 턴키로 단독 수주가 가능함. 2029년 이후 국내 i-SMR 건설 본격화(2032년 ~2035년 4개 호기 건설) 등 SMR 시장 개화 시 시장점유율 확대 기대
- 2024년에는 신한울 3, 4호기 수주 물량의 매출 반영이 지연되어 부진한 실적을 기록하고 있지만, 2025년부터 해당 부문의 매출의 본격적인 반영 등으로 실적 개선 기대. 향후 K-원전의 체코 2기, 폴란드 2기 등 해외 수주 확대에 따른 수혜도 점진적으로 나타날 것



(십억원, 원, %)	2020A	2021A	2022A	2023A	2024F
매출액	499	521	495	632	566
영업이익	27	72	48	67	-31
세전이익	-16	36	29	45	-53
총당기순이익	-14	37	34	50	-59
지배지분순이익	-12	63	34	50	-50
EPS	-11	47	23	33	-32
PER	NA	35.0	56.7	38.8	NA
BPS	473	596	647	680	644
PBR	2.8	2.8	2.0	1.9	3.5
ROE	-2.9	9.6	3.9	5.1	-4.9

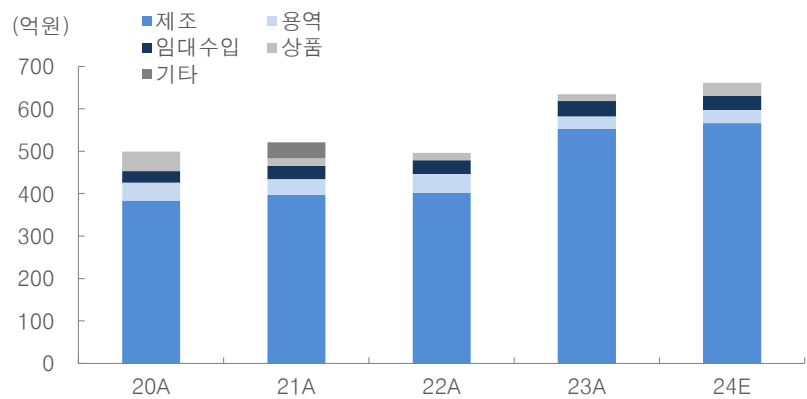
주: EPS와 BPS, ROE는 지배지분 수치 기준,
자료: 우리기술, 대신증권 리서치센터

우리기술 제조 원전용 MMIS/DCS



자료: 우리기술, 대신증권 Research Center

우리기술 부문별 매출액 추이 및 전망



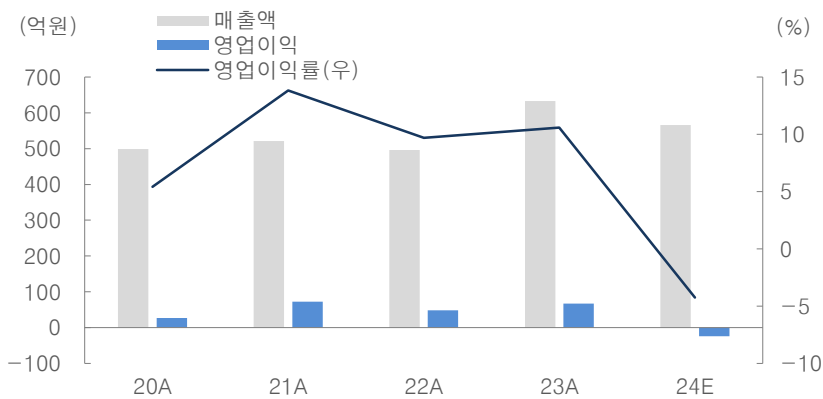
자료: 우리기술, 대신증권 Research Center

우리기술 MMIS/DCS



자료: 우리기술, 대신증권 Research Center

우리기술 연도별 매출액 및 영업이익 추이 및 전망



자료: 우리기술, 대신증권 Research Center

뉴스케일 파워 (SMR)

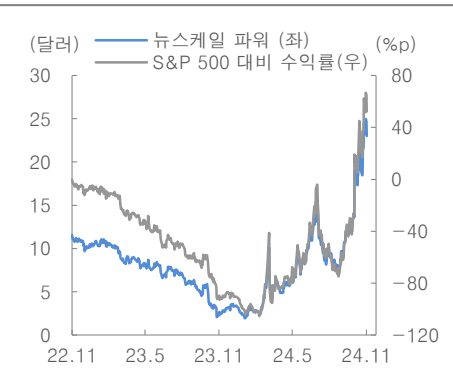
AI 데이터센터 건설에 따른 전력 수요 증가 수혜를 입을 뉴스케일 파워(SMR)

투자의견 (팩트셋 평균)	BUY *(1.6)
목표주가(\$) (팩트셋 평균)	18.4
현재주가(\$) (24.11.15)	23.0
주: 팩트셋 투자의견과 목표주가는 별개로 산출 현재주가가 목표주가보다 낮아도 BUY 표시 가능	

기업명	Nuscale Power
한글명	뉴스케일 파워
결산월	12월
거래소 국가	미국
상장 거래소	NYSE
시가총액 (십억달러)	5.9
시가총액 (조원)	8.2
발행주식수(백만주)	101.1
52주최고가/최저가	27.5 / 1.9
주요주주	Vanguard 8.0%
	글로벌 X 5.9%

주가수익률(%)	1W	1M	3M	12M
절대수익률	68.9	145.3	228.2	758.6
상대수익률	68.0	139.4	217.6	728.2

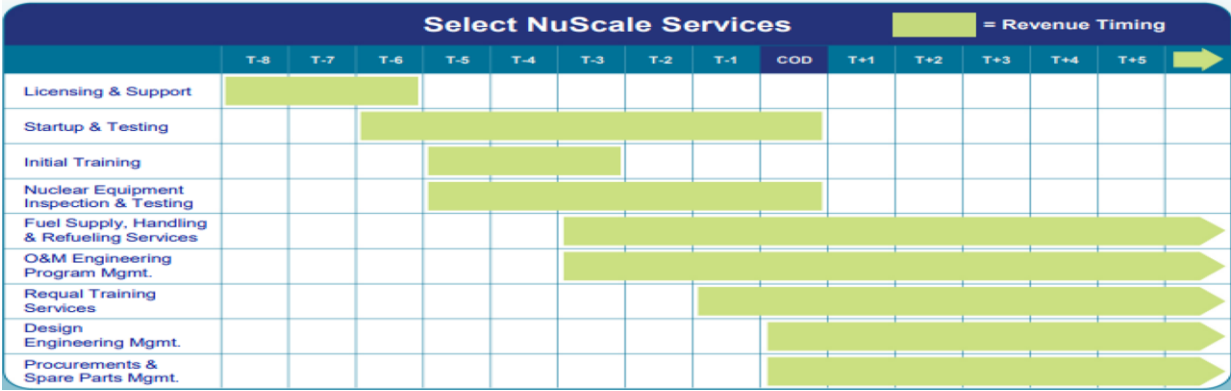
- 뉴스케일 파워는 3.5세대 SMR를 만드는 기업. 뉴스케일 파워의 Nuscale Power Module(NPM)은 가압 경수로 기술에 기반하고 있어 안정성이 높다는 특징을 가짐
- 미국 원자력 규제 위원회에 신청한 77MWe 표준설계인가(SDA)를 2025년 7월 이전까지 승인 받을 계획. 이미 지난 2020년 50MWe 기준으로 표준설계인가를 받은 바 있음. 뉴스케일 파워는 경쟁자들 대비 표준설계인가를 빠르게 받는다는 점을 활용해 다수의 프로젝트 수주에 나설 수 있다는 장점. 4세대 SMR의 경우 기술적 안정성이 테스트된 적이 없다는 점에서 뉴스케일 파워와 차이
- 2022년 루마니아 국영 원자력 전력회사 Nuclearelectrica와 천연가스 유통 회사 Nova Power & Gas 는 기존 석탄 발전소에 SMR을 개발하는 RoPower 프로젝트 시작, FEED 2단계가 2025년 말까지 마무리될 예정. 사업비는 59억달러. 미국 정부가 총 사업비의 3분의 2에 해당하는 40억달러를 지원
- 2025년 루미니아 프로젝트 본계약이 체결될 예정. 2029년 첫 호기 가동을 목표로 원자로 기기 및 장비 도입하면서 매출이 본격적으로 발생할 전망. 원자로 도입과 함께 연료의 공급, 그 이후 연료 공급, 관리, 교체 등의 서비스 시작. 가동 이후에도 교체부품 조달 및 운영 관리 등에 따른 매출 기대



(백만달러, 달러, 배)	2024E	2025F	2026F	2027F	2028F
매출액	16.8	76.7	173.2	300.4	499.2
영업이익	-170.8	-157.6	-138.0	-130.0	-97.8
당기순이익	-182.5	-104.2	-88.7	-58.6	-49.6
EPS	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4
영업활동 현금흐름	-113.4	-115.3	-80.9	-37.0	-4.2
투자활동 현금흐름	-23.1	-1.0	-1.0	-0.8	-0.8
재무활동 현금흐름	106.7	82.5	90.0	151.0	0.0
CAPEX	0.8	1.6	4.6	6.6	7.9
FCF	-114.2	-116.9	-85.5	-43.6	-12.1

뉴스케일 파워 (SMR)

뉴스케일의 SMR 프로젝트 매출 인식 방식 및 기간



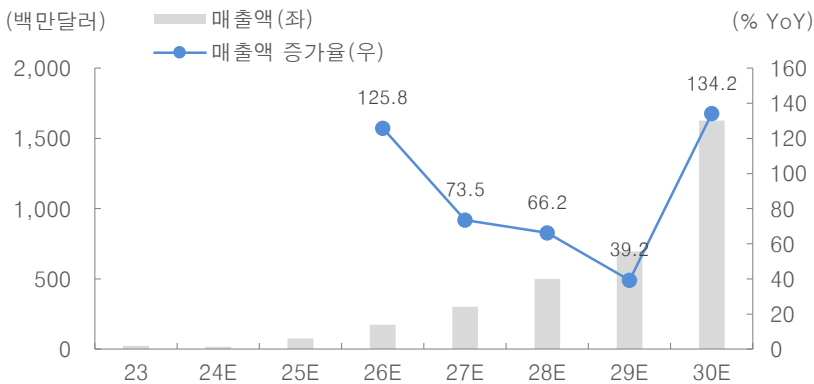
자료: Nuscale Power, 대신증권 Research Center

뉴스케일의 루마니아 RoPower 프로젝트 현황

프로젝트 소유주(지분)		부지	단계	본계약	첫호기 가동
Nuclearelectrica (국영원자력전력회사, 50%)		Doicești 석탄발전소	FEED2	2025년	2029년
Nova Power & Gas (천연가스 유통, 50%)					
설비용량	사업비	금융조달 (억달러)			
(MW)	(억달러)	미국 EXIM	미국 DFC	미국/일본/ 한국/UAE	루마니아
462(77x6)	59.0	30.0	10.0	2.8	16.3

자료: Nuscale Power, 대신증권 Research Center

뉴스케일의 매출액 전망



자료: Nuscale Power, 대신증권 Research Center

센트리스 에너지 (LEU)

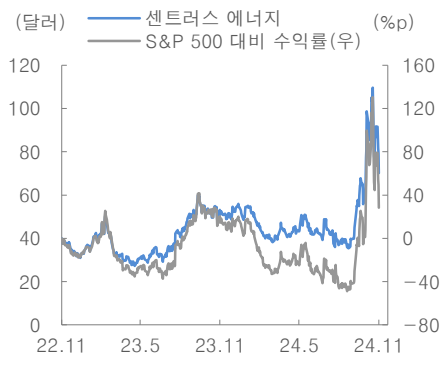
SMR 건설이 늘어나면서 증가할 LEU, HALEU 원료 수요

투자의견 (팩트셋 평균)	BUY *(1.3)
목표주가(\$) (팩트셋 평균)	112.7
현재주가(\$) (24.11.15)	70.2
주: 투자의견은 1에 근접할수록 긍정적 의견	

기업명	Centrus Energy
한글명	센트리스 에너지
결산월	12월
거래소 국가	미국
상장 거래소	NYSE
시가총액 (십억달러)	1.2
시가총액 (조원)	1.6
발행주식수(백만주)	15.7
52주최고가/최저가	118.4 / 33.5
주요주주	Global X 6.5% Vanguard 5.3%

주가수익률(%)	1W	1M	3M	12M
절대수익률	14.5	89.0	62.4	37.8
상대수익률	13.5	83.1	51.8	7.5

- 센트리스 에너지는 LEU를 중개하는 기업에서 LEU, HALEU를 생산하는 기업으로 변화를 추진. 2024년 미국의 러시아 LEU 수입을 규제하는 법안이 통과됨에 따라 미국 내 생산 추진 본격화. 러시아 규제가 본격화되는 2028년 이후 LEU 생산 본격화 전망
- 동사는 2028 ~ 2040년 사이에 9억 달러 규모의 LEU 공급 계약을 논의하고 있음. 2024년 11월 3.5억달러의 전환사채를 발행한 바 있음. 해당 자금은 2028년 LEU 생산을 위한 원심분리기 구입을 포함한 CAPEX에 주로 사용될 것으로 추정
- 향후 4세대 SMR에 사용되는 HALEU 생산도 추진. DOE로부터 향후 11년간 최대 10억달러의 매출 올릴 수 있는 HALEU 계약에 성공. 해당 프로젝트는 총 3단계로, 1단계는 20kg의 HALEU를 생산 2단계는 2024년까지 HALEU를 연간 900kg 생산. 3단계는 2024년 이후 HALEU 공급 계약을 최대 9년 연장 가능한 옵션이 포함되어 있음
- 2030년 이후 정부가 아닌 기업향 HALEU 매출이 발생할 전망. 4세대 SMR이 도입되면서 본격적으로 HALEU 수요가 증가할 전망

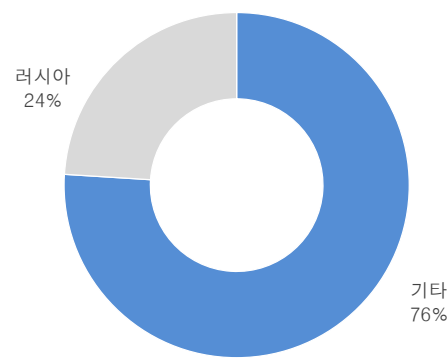


(백만달러, 달러, 배)	2022	2023	2024F	2025F	2026F
매출액	293.8	320.2	402.1	419.6	434.6
영업이익	70.6	52.4	29.9	53.6	51.7
당기순이익	135.3	84.4	41.6	46.3	46.7
EPS	3.4	5.4	2.5	2.8	2.8
영업활동 현금흐름	20.6	9.1	-13.6	95.1	134.3
투자활동 현금흐름	-0.7	-1.6	-3.5	-0.4	-0.4
재무활동 현금흐름	-4.3	13.9	17.4	-6.2	0.0
CAPEX	0.7	1.6	3.5	0.4	0.4
FCF	19.9	7.5	19.6	131.7	133.9

센트리스 에너지 (LEU)

LEU, HALEU 직접 생산 추진

미국 LEU 수입 국가별 비중



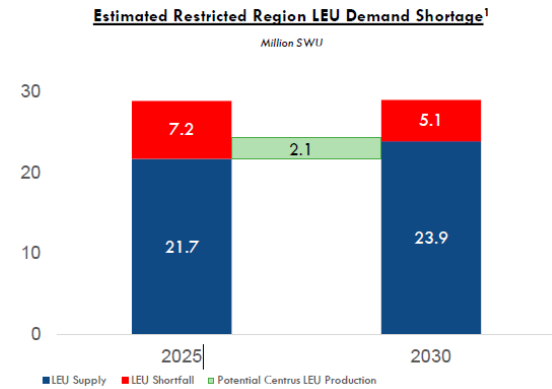
자료: Centrus Energy, 대신증권 Research Center

미국 에너지부 HALEU 계약

구분	1단계	2단계	3단계
목표	HALEU 20kg 시험 생산	HALEU 연간 900kg 생산	미국 에너지부 최대 9년 연장 계약
시기	목표 조기 달성	2024년	2024년 이후
영향	센트리스 3,000만 달러 부담 DOE 3,000만 달러 기여	비용 + 인센티브 계약 구조 계약 가치 최대 9,000만 달러	비용 + 인센티브 계약 구조 의회 조정 절차 필요 미국 에너지부 재량

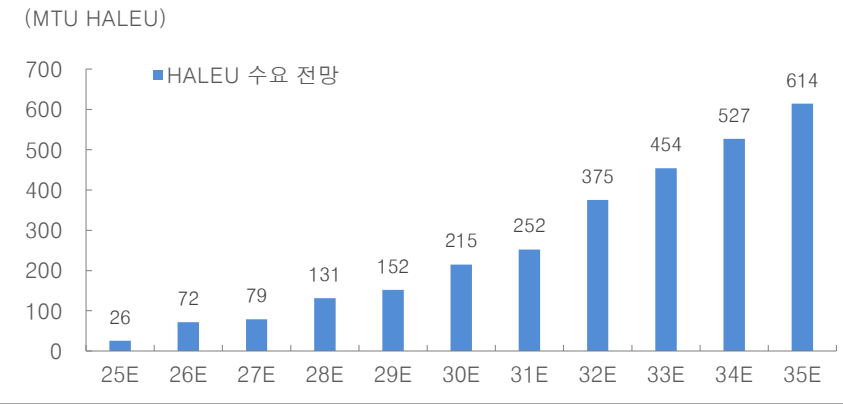
자료: Centrus Energy, 대신증권 Research Center

러시아 규제에 따른 글로벌 LEU 쇼티지



자료: Centrus Energy, 대신증권 Research Center

글로벌 HALEU 수요 전망



자료: Centrus Energy, 대신증권 Research Center

글로벌 원전 패권전쟁 시리즈

순번	제목	작성자	발간일
1	K-원전, 신흥강자로 도약 (대형 원전 시장 및 파이낸싱)	허민호, 박장욱	2024.07.09
2	SMR, 정체가 뭐니? (기술개발 및 경제성 현황)	허민호, 박장욱, 서영재	2024.11.19
4	SMR, 어디까지 왔니? (규제 및 인허가 현황)		2025년(예정)

Compliance Notice

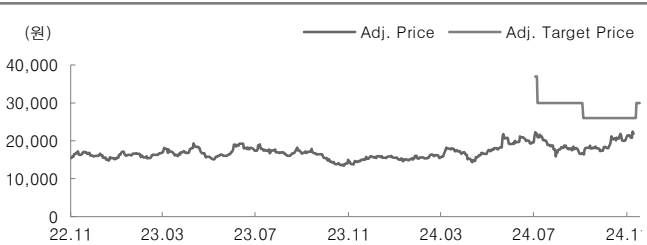
- 금융투자업규정 4-20조 1항5호사목에 따라 작성일 현재 사전고지와 관련한 사항이 없습니다.
- 당사의 금융투자분석사는 자료 작성일 현재 본 자료에 관련하여 재산적 이해관계가 없습니다. 당사는 위 언급된 종목을 제외한 동자료에 언급된 종목과 계열회사의 관계가 없으며 당사의 금융투자분석사는 본 자료의 작성과 관련하여 외부의 부당한 압력이나 간섭을 받지 않고 본인의 의견을 정확하게 반영하였습니다. (작성자: 허민호, 박장욱, 서영재)
- 본 자료는 투자자들의 투자판단에 참고가 되는 정보제공을 목적으로 배포되는 자료입니다. 본 자료에 수록된 내용은 당사 Research Center의 추정치로서 오차가 발생할 수 있으며 정확성이나 완벽성은 보장하지 않습니다. 본 자료를 이용하시는 분은 동 자료와 관련한 투자의 최종 결정은 자신의 판단으로 하시기 바랍니다.

투자의견 비율공시

구분	Buy(매수)	Marketperform(중립)	Underperform(매도)
비율	93.0%	7.0%	0.0%

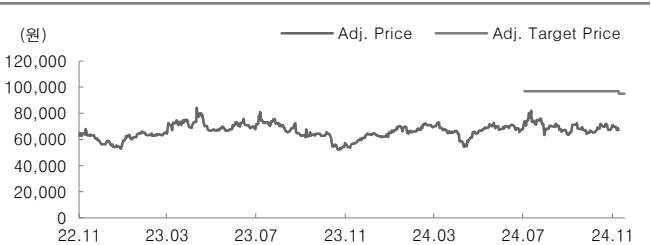
기준일자: 2024.11.10

두산에너지리티(034230) 투자의견 및 목표주가 변경 내용



제시일자	24.11.19	24.11.18	24.10.31	24.10.17	24.10.11	24.09.10
투자의견	Buy	Buy	Buy	Buy	Buy	Buy
목표주가	30,000	30,000	26,000	26,000	26,000	26,000
제시일자	24.07.18	24.07.12	24.07.09			
투자의견	Buy	Buy	Buy			
목표주가	30,000	30,000	37,000			
제시일자						
투자의견						
목표주가						
제시일자						
투자의견						
목표주가						

한전기술(052690) 투자의견 및 목표주가 변경 내용



제시일자	24.11.19	24.11.18	24.10.18	24.10.11	24.08.07	24.07.18
투자의견	Buy	Buy	Buy	Buy	Buy	Buy
목표주가	95,000	95,000	97,000	97,000	97,000	97,000
제시일자	24.07.09					
투자의견	Buy					
목표주가	97,000					
제시일자						
투자의견						
목표주가						
제시일자						
투자의견						
목표주가						