

해외건설 INSIGHT

2023 Vol.6

소형모듈원전(SMR)의 현황 및 전망



I. SMR 개요

II. 글로벌 SMR 개발현황 및 국가별 지원 동향

III. 종합의견



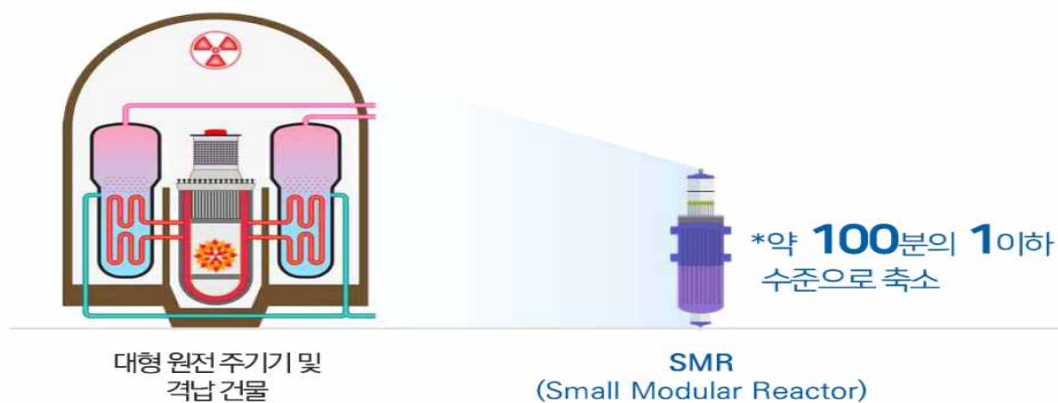
I . SMR 개요	1
1. SMR 의미	1
2. SMR 개발의 필요성	2
3. SMR의 경쟁력과 진출 전망	3
II . 글로벌 SMR 개발현황 및 국가별 지원 동향	5
1. 글로벌 SMR 개발현황	5
2. 주요 국가별 SMR 지원동향	11
3. 우리나라의 SMR 관련 협력(투자) 현황	13
III . 종합의견	15

I SMR 개요

1. SMR 의미

- SMR는 소형 모듈 원자로(Small Modular Reactor)를 의미하며 경수로형¹⁾, 고온가스형²⁾, 용융염냉각형³⁾, 소듐냉각형⁴⁾ 등의 다양한 소형원자로를 통칭함
- 일반적인 대형 원자로⁵⁾가 1000MW 이상의 출력을 내지만 SMR은 300MW 미만⁶⁾의 비교적 작은 출력을 내며, 주요 기기를 일체화시켜 모듈 형태로 생산할 수 있음
- 주요 기기가 일체형이므로 기존의 대형원전보다 안전성이 높고, 설치 공간을 적게 차지함. 설치·운영에 대한 유연성이 뛰어나며 초기 투자 비용이 낮음
- 원전 설계 및 운전 절차가 단순하여 초기비용뿐 아니라 및 고장 발생 가능성이 낮으며, 다양한 기술 차용을 통한 높은 신뢰성도 확보할 수 있음

< 그림 I -1. 소형 모듈 원자로(SMR) 기본 개념 >



* 출처: 에너지경제연구원, 세계원전시장 인사이트 2021. 10. 22

- 1) 냉각재로 물을 사용하는 원자로. 대형원전과 동일한 기술로 인허가 용이
- 2) 냉각재로 헬륨을 사용하는 원자로. 헬륨은 비활성 기체로 1000°C의 초고온에도 화학반응이 없어서 외부전원 상실이나 조치가 불가능한 상황에서도 노심용융이 발생하지 않음
- 3) 핵연료가 냉각재에 녹아있는 형태의 용융염을 연료로 활용하는 방식으로 액체연료 원자로로 불림. 소형화를 극대화하기에 유리함
- 4) 소듐(Na)을 냉각재로 활용
- 5) 한국전력기술의 OPR1000, 웨스팅하우스의 AP1000 등의 경수로
- 6) IAEA의 정의

2. SMR 개발의 필요성

- 2022년 2월 24일 시작된 러시아-우크라이나 전쟁은 전 세계에 에너지 수급의 불확실성을 초래하며, 에너지 안보에 대한 관심을 불러일으켰음
- 미국, 캐나다, 영국, 프랑스 등 세계 주요 국가들은 에너지 자립 달성을 위해 원전에 다시 관심을 기울이고 있으며, 우리나라도 차세대 원전 기술 확보를 위해 노력 중임
- 2022년 7월 EU는 녹색 분류체계(그린 택소노미)에 원전을 포함시켜 2050년 탄소중립 목표 달성을 위한 과도기적 에너지로 원전을 인정하며, 원전에 대한 관심이 증가하고 있다는 것을 보여주었음
- 에너지 및 원자력 관련 연구기관, 기업 등에서는 탄소중립과 관련하여 기존 석탄 화력발전을 SMR로 대체하는 것을 제시하고 있으며 세계 각국에서 70여 개⁷⁾의 다양한 SMR 노형(爐型)이 개발되고 있음
- IEA⁸⁾도 World Energy Outlook 2022를 통해 탄소중립 단계를 위한 절차 중 원전의 필요성 및 각 국가들의 원전 활용 현황에 대해 인식하고, SMR의 활용에 대해서도 주목하였음
- 우리 정부도 2022년 9월 K-택소노미(한국형 녹색분류체계)에 원전을 포함시킨 초안을 발표하였고 10월에는 12대 국가전략기술 중 하나로 차세대 원자력을 포함시켜 국가전략기술 프로젝트^{*9)}로 추진
 - * 2028년까지 세계 최고 수준의 안전성, 경제성, 유연성을 확보한 글로벌 시장에서 경쟁우위를 갖는 한국형 혁신 SMR을 독자 모델로 개발해 글로벌 SMR 선점 추진
- 원자력연구원은 혁신원자력 시스템 기술의 연구와 실증을 위한 시설¹⁰⁾공사를 진행하고 있으며, 완공 후에는 SMR 개발에 활용할 예정

7) 에너지경제연구원. 2021.10.22. 세계원전시장 인사이트

8) International Energy Agency, 국제 에너지 기구

9) 2023년부터 6년간 약 2천7백억 원의 예산을 투입하여 혁신형 SMR(i-SMR) 표준설계를 위한 사업 수행 예정

10) 문무대왕과학연구소

3. SMR의 경쟁력과 진출 전망

- SMR은 대형원전과 달리 시스템 내의 기기들이 제조 시설에서 모듈로 제작되어 설치장소까지 운송되므로 설계 단순화 및 공정화를 통한 경제성 향상이 가능함
- 설치장소가 대형원전에 비해 자유로우므로 지역사회, 극지·오지에 전력공급과 함께 선박 및 우주 추진, 해양플랜트 설비의 전력 및 열 공급, 해수담수화를 통한 수자원 공급이나 지역난방 공급까지도 활용 가능

< 표 I -1. 대형원전과 SMR 비교 >

	대형원전	SMR
안전성	· 체르노빌, 후쿠시마 등 대형 사고 발생 이력이 있음	· 소형화, 피동형 ¹¹⁾ 으로 사고 발생위험을 낮춤
운영 탄력성	· 대용량 출력이 고정됨(기저부하)	· Scalable & 부하추종 ¹²⁾ 운전이 가능함 (분산 전원 및 신재생에너지의 백업 전원으로 활용 가능성)
건설 Risk	· 현장작업의 비중이 높음 (건설비 Risk ↑)	· 공장작업의 비중이 높음 (건설비 Risk ↓)
부지 면적	· 573m ² /MWe(APR1400 기준)	· 대형원전 대비 단위 출력 당 필요 부지 면적 1/2
응용분야	· 발전용	· 담수, 수소생산, 정유, 선박 추진용

* 출처: 에너지경제연구원, 세계원전시장 인사이트 2021. 10. 22

- 소형원전은 대형원전 대비 건설비 등 투자비용은 적게 드는 대신, 한기당 출력이 낮아 에너지 생산용량 당 단가는 비싸질 수 있으며 신규 원자로 설치에 대한 인허가 과정의 어려움은 여전히 존재함
- 신기술을 활용한 원전 사업이므로 주민 수용성이 매우 중요하며, 소용량 다량 건설 시 사업의 인허가 지연 우려도 상존함

11) 인위적 개입 없이 중력과 대류 현상으로 작동하는 방식

12) 종래의 원자력발전소처럼 일정한 정격출력으로 기저부하(base load) 역할을 하는 것이 아니고 전력수급의 변화에 대응하여 각 시점의 부하에 따라 즉시 전력을 내는 운전방식

< 표 1-2. SMR의 SWOT >

장점(Strength)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> · 대형 원전 대비 건설비가 상대적으로 저렴 · 연료 교체 없이 긴 수명 확보 · 모듈화, 빠른 설치로 건설비·운영비 저렴 · 투자 위험도 감소를 통한 경제성 확보 	<ul style="list-style-type: none"> · 규모의 경제에 의한 생산 용량 당 단가 상승 · 신기술 불확실성 존재(기술 실증-인허가 문제) · 소용량 다량 건설 시 인허가 지연 우려
기회(Opportunities)	위협(Threats)
<ul style="list-style-type: none"> · 새로운 원전 시장 개척 동력으로 작용 <ul style="list-style-type: none"> - 도서·오지 전원공급 - 전력 의존적 산업 전원 공급 - 다양한 용처의 시장 확보 	<ul style="list-style-type: none"> · 제작 용이성으로 인한 핵 확산 위험성 우려 · 사용 후 핵연료 문제는 대형원전과 동일

* 출처: 에너지경제연구원, 2020. 7. 24. 세계원전시장 인사이트

- 우리 해외건설은 2009년 UAE 원자력 발전소 건설(191.3억불) 수주를 포함하여 원전 관련 수주 규모는 지금까지 총 6건 220.2억불임
 - 요르단 연구용 원자로 건설공사(2010. 3, 대우건설, 1.5억불), 네덜란드 오이스터 실험용 원자로 개선 공사(2014. 11, 현대건설·현대엔지니어링, 0.3억불) 등 원자력연구원이 설계한 소규모 연구·실험용 원자로 실적 포함
- 향후 세계 SMR 시장은 2020년 35억 달러에서 2030년까지 연평균 15.8% 성장하여 188억 달러에 이를 것으로 예상¹³⁾하고 있음
 - 그러나 SMR의 대부분을 이루고 있는 4세대 원전의 상용화 시작 목표 시기가 2030년으로 아직 SMR 시장이 형성됐다고 보기는 어려우며, 예측 기관에 따라 전망치가 큰 차이를 보이고 있음
 - 시장 자체의 불확실성¹⁴⁾이 아직은 매우 높은 상태로 에너지 위기 및 기후변화, 탄소 감축 등의 동향을 감안할 때 시장 규모가 빠르게 성장할 가능성도 있음
- 우리나라는 UAE 이후 주목할만한 원전 수주실적이 없으나, SMR 시장진출을 통해 원전 수주를 다시 확대할 수 있을 것으로 기대됨

13) Allied Market Research. 2021.11

14) OECD NEA((Nuclear Energy Agency)는 2035년 SMR 시장을 850MW~21,000MW로 예상하며, High Case가 Low Case의 약 25배로 전망될 정도로 불확실성이 높음

II 글로벌 SMR 개발현황 및 국가별 지원 동향

1. 개발현황

가. NuScale(미국)

- NuScale 경수로 기술을 기반으로 안전성과 경제성을 획기적으로 향상시켜서 원자로, 증기발생기, 가압기와 같은 주기기를 하나의 모듈(module)에 집약시키고, 대형원전의 거대 콘크리트 돔(dome)인 격납 건물까지 모듈에 일체화함
- 모듈 수를 조절하여 출력 조절이 가능하며(1기당 77MWe, 최대 12 모듈 가능) 피동형 설계로 외부 전력공급이 중단되어도 안전성을 유지할 수 있고, 전력 수요에 따라 모듈 운영 개수를 조절하여 운전할 수 있음

〈 그림 II - 1 NuScale SMR 구조 〉



- 미국 원자력규제위원회가 2020년 8월 최초로 SMR에 대한 설계인증을 승인함에 따라 NuScale은 다양한 실증시험을 통해 상용화 속도를 높이고 있음
- UAMP¹⁵⁾가 Idaho National Laboratory에서 2029년 상업운전 시작을 목표로 프로젝트를 추진 중이며, 미국 에너지부는 2020년 10월 14억불 지원 계획을 발표하였음

- UAMPS는 NuScale의 대주주인 Fluor와 EPC 계약을 준비를 위한 Development Agreement 2020년 12월 체결하였음

< 그림 II - 2 NuScale SMR 실증시험 >



- 두산에너지빌리티는 2019년 국내 투자사들과 공동으로 NuScale에 44백만불 규모의 지분을 투자하여 전략적 협력관계를 구축하고, 원자로 모듈에 대한 제작성 검토 연구를 완료(2019년 8월~2021년 1월)하였으며, 주기기 제작을 준비 중임
- 2021년에는 추가 60백만불 규모의 추가 지분 투자, 2022년 UAMPS 초도 원자로 모듈 압력용기 제작에 이어 2023년에는 주요 기자재 제작에 착수할 예정

나. Xe-100(미국)

- X-energy의 고온가스로로 헬륨을 냉각재로 사용하며, 이에 750℃의 고온으로 운전이 가능함. 모듈당 80MW급으로, 4개의 모듈이 합쳐진 320MW급 SMR을 목표로 함
- 고온의 헬륨 가스는 565℃의 증기를 생산하여 전력 생산 효율이 상대적으로 높고, 담수, 지역난방, 세일가스 추출, 수소생산 등에 활용성이 높음

15) Utah Associated Municipal Power System. EPC 기업.

- 초고온에서도 코팅 재질은 녹지 않을 뿐만 아니라 불활성 기체인 헬륨을 냉각재로 사용하므로 안정적이며, 노심용융이 발생하지 않아 안전성이 강화됨
- X-energy가 개발한 핵연료¹⁶⁾는 세라믹 등으로 3중 코팅된 입자를 테니스공 크기의 핵연료로 만든 것이며, Xe-100 원자로 1대당 핵연료가 220,000개 장전됨

< 그림 II - 3 TRISO-X 핵연료 및 Xe-100 주기기 >



- 미국 에너지부(DOE)는 2020년 10월에 차세대 원전 실증로 건설 프로그램(ARDP)에 X-energy를 선정하였으며, 2027년까지 Xe-100 상업운전을 위한 개발 자금을 지원할 예정임
 - 이를 통해 초기 지원금 80백만불을 확보하였으며, DOE는 2027년까지 총 12억불을 지원할 계획임
- 두산에너지빌리티는 2021년 8월 X-energy와 주기기 제작설계 계약을 체결하고 주기기 및 시제품 제작, 설계 최적화 등 SMR 설계를 지원할 계획임

다. eVinci(미국)

16) TRISO-X(TRIstructural-ISOtropic)

- Westinghouse에서 개발하고 있는 5MW급 MMR인 eVinci Microreactor에 대한 개발계획 수립을 완료하여 개발을 진행 중임
- USNC와 동일한 핵연료를 사용하며, 연료 재장전 주기는 최소 3년 이상(6년 또는 9년으로 개발 진행 중임)
- 상업 운전 개시는 2027년을 목표로 하고 있으며, 미국 및 캐나다 인허가 기관이 eVinci 설계 검토 중임
- Westinghouse는 달 착륙선을 개발하고 있는 아스트로보틱(Astrobotic)사와 우주에서 사용할 원자력 기술과 수성 시스템 개발 협력을 위한 MOU를 체결함
 - 2020년대 후반까지 달에서 최소 10년간 작동할 수 있는 원자로를 목표로 eVinci의 40kW급 축소 버전을 개발하여 열과 전력을 함께 공급할 수 있는 시스템을 목표로 하고 있음

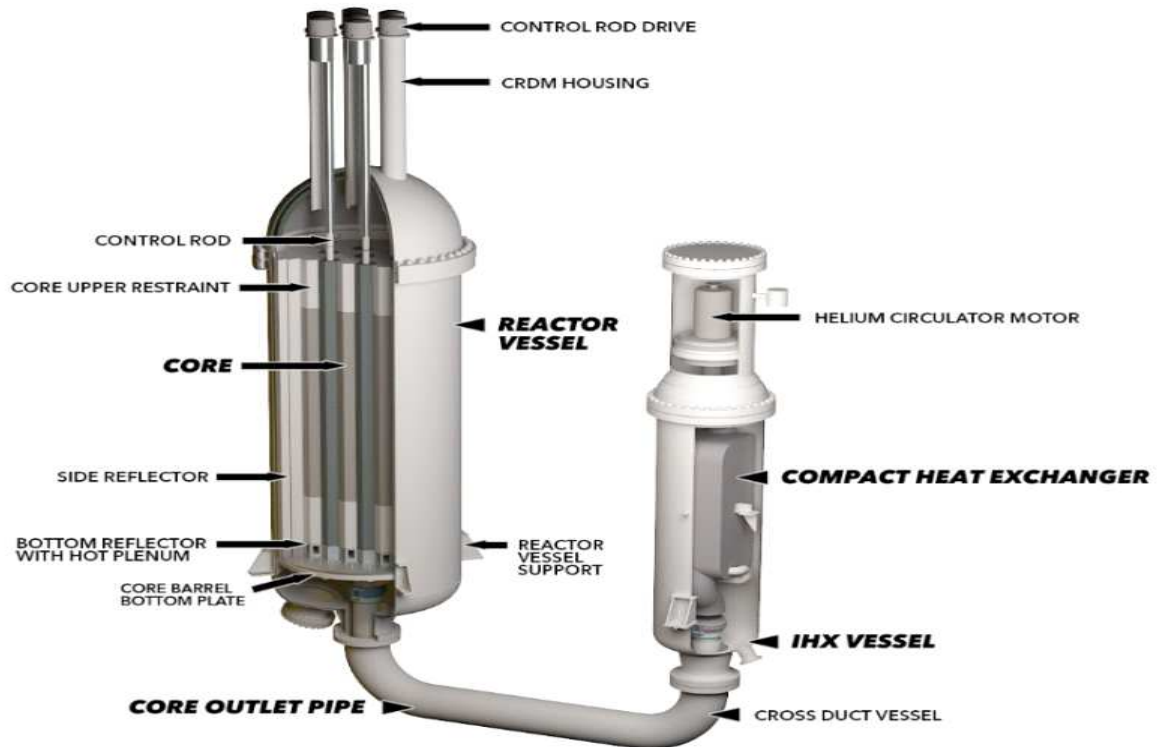
라. USNC¹⁷⁾(캐나다)

- 2011년 설립된 USNC는 2015년부터 냉각재로 헬륨을 쓰는 5MW급 고온가스형 MMR¹⁸⁾(초소용 원자로) 개발을 진행 중이며, 2026년 상업 운전을 목표로 하고 있음
 - 감속재로는 흑연을 사용하며, MMR 건설기간은 36개월이 소요됨. 핵연료 입자를 가공하여 핵연료 펠렛을 제작하는 특허를 보유하고 있음
- 한국원자력연구원, 현대엔지니어링 및 USNC는 차세대 원자로 기술개발을 위한 MOU를 체결하여(2020년 7월) MMR의 무탄소 전력, 열·수소 생산·공급 기술 강화에 5년간 협력할 예정임
- USNC는 캐나다 유틸리티인 OPG(Ontario Power Generation)과 GFP(Global First Power)라는 합작회사를 설립했으며, 이 J/V는 USNC Demo Plant의 운영/인허가를 담당함

17) Ultra Safe Nuclear Corporation

18) Micro Modular Reactor, 일반적으로 30MW급 초소형 원전을 의미

< 그림 II - 4. USNC MMR 내부 구조도 >



- 캐나다 규제기관인 CNSC(Canadian Nuclear Safety Commission)는 USNC에 대한 VDR(Vendor Design Review) 1단계를 종료했으며, 건설부지에 대한 평가도 완료함

마. Rolls-Royce(영국)

- 1980년~1990년대 초 330MWe급 SIR(Safe Integral Reactor)을 개발하였으며 2015년부터 신규 경수로형 SMR을 개발을 진행 중임
- 원전운영사, 터빈설계사, 종합설계사, 연구기관 등 Rolls-Royce가 주도하는 UK SMR 컨소시엄(9개 업체¹⁹⁾ 참여)이 개발에 협력 중이며, 영국의 30개 대학과도 기술제휴를 맺고 대학의 연구 프로그램을 지원하고 있음

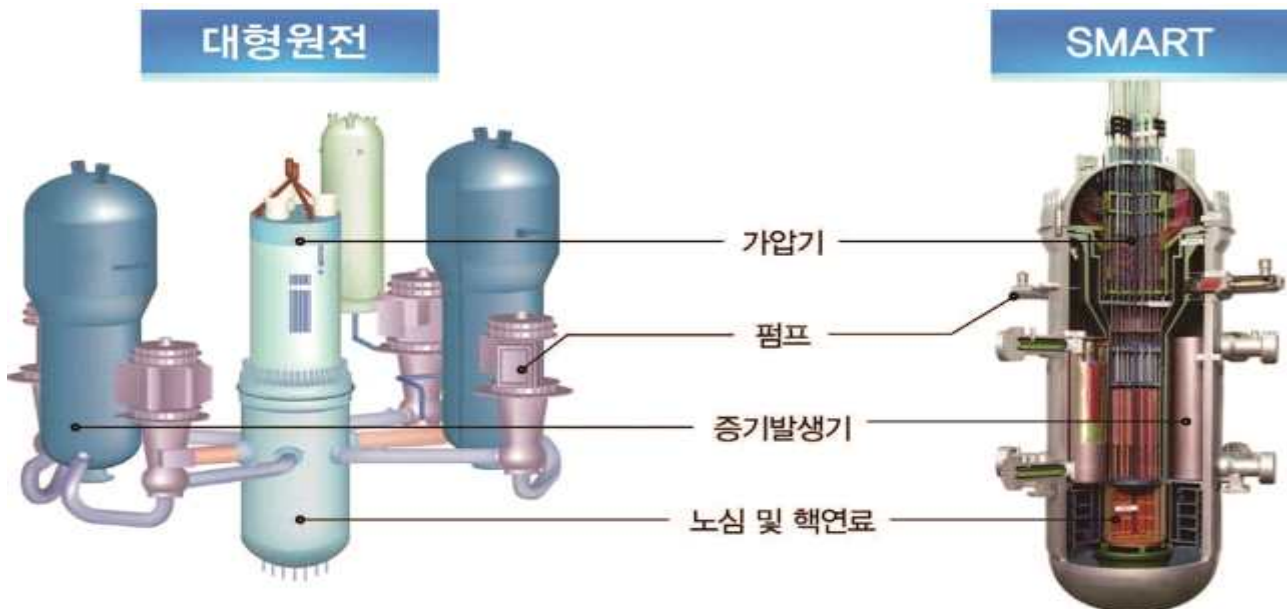
19) Assystem, Atkins, BAM Nuttall, Jacobs, Laing O'Rourke, National Nuclear Laboratory, Nuclear Advanced Manufacturing Research Centre, Rolls-Royce, TWI

- Rolls-Royce는 SMR 개발을 위해 영국 정부로부터 2019년 36백만파운드, 2021년 11월에 2.1억파운드를 지원받았으며, 2030년부터 SMR 상업운전개시, 2050년까지 SMR 16기 건설을 목표로 하고 있음
- 영국 정부는 SMR 건설을 위해 총 15~20억파운드 규모의 추가 지원금 제공을 검토하고 있는 것으로 알려짐

바. SMART, BANDI-60, i-SMR(한국)

- SMART(System-integrated Modular Advanced Reactor)는 KAERI(한국원자력연구원)가 개발한 소형원전으로 전기 생산 및 해수 담수화용 100MW 경수로형 SMR이며 2012년 표준설계인가²⁰⁾를 획득
- 한국전력기술은 해양부유식 60MW급 가압경수로인 BANDI-60의 개념설계를 마치고 기본설계를 진행하고 있으며, 한국수력원자력은 과기정통부의 지원을 받아 혁신형 SMR인 i-SMR의 표준설계 개발을 추진 중임

< 그림 II - 5. SMART 내부 모형도 >



20) 동일한 설계의 발전용 원자로를 반복적으로 건설하고자 할 때 원자로 및 관계시설의 표준설계에 대해 종합적인 안전성을 심사해 인허가를 주는 제도

2. 국가별 도입 및 지원 현황

- 아직 전 세계적으로 SMR 관련 시장이 형성되지는 않았으며, 시장의 불확실성이 높으나, 국가별로 기술개발과 시공을 위한 지원을 확대 중임

가. 미국

- 미국의 SMR 프로젝트는 UAMPS(Utah Associated Municipal Power System)와 TVA(Tennessee Valley Authority)²¹⁾가 사업을 추진하기 시작하면서 그 시작을 알림
 - UAMPS는 NuScale Power(technology provider) 및 Energy Northwest(operator)와 협업으로 Idaho National Laboratory에 SMR 건설을 추진 중이며, TVA는 Clinch River Nuclear Site에 SMR 건설을 위한 승인을 2016년 12월 완료
- NuScale은 두산에너지빌리티, BWXT²²⁾(미국)와 기본 계약을 체결하여 SMR(NuScale Power Module) 제작을 추진하고 있으며, 삼성물산 등의 투자를 받아 Idaho National Laboratory를 추진하고 있음
 - 기존의 대형원전과 동일한 방식인 경수로형으로, SMR 중 최초로 2020년 8월 미국 원자력규제위원회의 설계인증서를 받아 상용화에 가장 근접한 것으로 알려져 있음

나. 캐나다

- 캐나다의 CNL(Canadian Nuclear Laboratories)은 2017년에 2026년까지의 SMR 건설 계획을 수립하고, 캐나다 및 외국의 학계, 전력회사, 잠재적인 수요자, SMR 유치 희망 지역, 기기 공급업체 등의 참여 의사 파악
- 2018년 11월에는 전략적 국제 SMR 시장의 교두보 역할을 목표로 산업계, 정부, 발전사 및 관련 사업체 전문가들이 10개월간 활동하며 Canadian Roadmap for Small Modular Reactors를 수립

21) 테네시강 유역 개발 공사. 1933년 대공황 극복을 위한 뉴딜 정책의 일환으로 시작된 테네시강 유역 종합 개발 사업을 목적으로 설립된 미국의 정부기관

22) BWX Technologies, Inc. 미국 버지니아주에 본사를 두고, 원자력 부품과 연료를 공급하는 기업

다. 영국

- 영국은 2015년 11월 경제적 효율성 확보를 위한 SMR 설계 프로그램에 착수하며 R&D 투자를 시작하였으며, 2014년 12월 영국 국립 원자력 연구소²³⁾는 SMR Feasibility Study를 통해 SMR의 가격경쟁력을 보유하게 되면 2035년까지 그 시장 규모를 2,500~4,000억 파운드(65~85GW)로 예측
- 2016년 영국의 에너지·기후변화부²⁴⁾의 지원으로 Nuvia²⁵⁾가 발간한 MMR 시장과 기술 보고서²⁶⁾에 따르면 2030~2035년까지 MMR의 잠재적인 시장 규모를 2,850MW로 추정

라. 기타 국가

- (프랑스)최근 프랑스 정부의 원전 필요성 강조로 다소 늦게나마 제3세대 SMR 기술개발을 시작하여, 프랑스 전력공사²⁷⁾는 다른 제3세대 SMR에 비해 출력이 다소 높은(300~400MW) NuWard를 개발하고 있음(개념설계 단계)
- (러시아) 기존 원자로를 개량한 제3세대 SMR과 제4세대 SMR 기술개발 진행 중임. Afrikantov OKBM²⁸⁾사는 기존 해양용 가압경수로 기반의 3세대 원자로인 KLT-40을 발전시킨 KLT-40S를 부유식 소형원전 형태로 2020년 5월 상용화에 성공하였으며 지상 발전소로 활용하기 위한 RITM-200를 개발 중
- (중국) 정부 주도로 SMR 건설·운영 중으로, 중국 국영기업인 중국원자력공사²⁹⁾가 3세대 원자로인 ACP100을 이용하여, 2021년 7월 육상 통합형 원전인 링룽 1호로 건설을 시작하였으며, 고온가스로 기반 105MW급의 원전인 HTR-PM를 운영 중임

23) National Nuclear Laboratory

24) DECC(Department of Energy and Climate Changes)

25) 프랑스 Vinci의 원자력 전문 자회사

26) Market and Technical Assessment of Micro Nuclear Reactors

27) EDF(Électricité de France)

28) 러시아의 핵잠수함 원자로 설계 제작사

29) CNNC, China National Nuclear Corporation

표 II - 1. 국가별 SMR 주요 현황

국가	주요기업(기관)	특징
미국	Nuscale Power, GE-Hitachi Nuclear Energy, Holtec International, TerraPower, Kairos Power, X-energy	정부의 적극적인 지원으로 벤처기업을 포함한 다양한 기업들이 활발하게 활동하고 있으며 제3세대 ³⁰⁾ 와 제4세대 ³¹⁾ SMR 모두 연구개발 진행 중
캐나다	Terrestrial Energy	정부 지원으로 제4세대 SMR 연구개발 진행 중
영국	Rolls-Royce and Partners	정부 지원으로 제3세대 SMR 연구개발 진행 중
프랑스	EDF Consortium	국영기업 중심으로 제3세대 SMR 연구개발 진행 중
러시아	Afrikantov OKBM, Atomenergoprom	기존 원자료를 개량한 제3세대 SMR 상용화와 함께 제4세대 SMR 연구개발 진행 중
중국	CNNC	정부 주도로 제3세대, 제4세대 SMR 건설·운영 중

* 출처: 한국과학기술기획평가원, 2022. 11. 22. KISTEP 브리프, 소형모듈원자로(SMR)

3. 우리나라의 SMR 관련 협력(투자) 현황

- 국내 기업과 연구기관 간 협력뿐 아니라 미국 등 외국기업까지 확대되는 등 SMR과 관련한 협력 사례가 증가하고 있음
- 삼성중공업은 2021년 한국원자력연구원과 해양 원자로 공동연구 협약을 체결하고 원자력 추진 선박의 기술 및 기자재개발, 해양 원자력 설계와 비즈니스 모델 개발, 성능 검증 및 경제성 평가 등의 협력을 통해 시장 개척 시작
 - 2022년 4월에는 덴마크의 Seaborg Technologies³²⁾와 기술협력 업무협약을 맺고 용융염냉각형 원자로 기반의 부유식 원자력 발전 설비 개발 협력중
- 두산에너지빌리티는 2019년 NuScale과 전략적 협력관계를 구축하였으며, 2021년 8월에는 X-Energy와 Xe-100 주기기 제작을 위한 설계용역 계약을 체결하고 주기기 제작 방안 연구, 시제품 제작, 설계 최적화 방안 연구 등을 수행 중

30) 1세대 원자로는 1954년 평화적인 원자력 이용을 위해 원자력을 상업화한 이후 가동되기 시작한 원형 동력로를 의미. 2세대 원자로 1세대 원자로에서 경제성과 신뢰성을 고려하여 개발된 원자로, 3세대는 2세대에서 안전성과 경제성을 향상시킨 개량형 원전을 의미함. 1990년대 후반 일본에 건설된 1,350MWe 급 개량비등경수로, 미국의 AP600 및 한국의 APR1400(신고리 3, 4호기 등)이 여기에 속하고, 제3세대 원전을 개량한 AP1000, EPR, ACR1000, ARP+ 같은 개량 제3세대 원전도 있으며 3+세대, 또는 3.5세대라고도 부르기도 함

* 제1세대: 초기의 원자로, 제2세대: 상용로, 제3세대: 개량형 경수로로 쉽게 구분하기도 함

31) 미국 에너지성이 2030년을 실용화 목표로 제시한 차세대 원자로로, 원자력 수소 생산 시스템 구축을 위한 고온가스형, 원자력의 안전성과 친환경성, 핵확산저항성을 획기적으로 향상시킨 소듐냉각형 등이 포함됨

32) 용융염냉각형 원자로를 개발하는 덴마크의 민간 스타트업 기업

- 현대건설은 2021년 미국 기업 Holtec International(SMR-160 설계 중)과 SMR 사업 동반 진출을 위한 사업협력계약(Teaming Agreement) 체결
- SK그룹은 2022년 8월 SK(주)와 SK이노베이션이 함께 TerraPower³³⁾(Natrium 설계 중)에 2억 5000만불을 투자함
- 한국원자력연구원, 현대엔지니어링 및 USNC는 차세대 원자로 기술개발을 위한 MOU를 체결하여(2020년 7월) MMR의 무탄소 전력, 열·수소 생산·공급 기술 강화에 5년간 협력할 예정임
- 한국수력원자력은 2021년 12월 한국원전산업협회와 미국원자력협회가 공동주최한 한·미 원자력협력 워크숍에 참여하여 SMR 개발 및 원전 산업계생태계 유지를 위한 방안을 논의함
 - 워크숍에는 한국의 한수원, 두산에너빌리티, 한국원자력연구원 등이, 미국에서는 NuScale, TerraPower 등 주요 SMR 개발사가 참여함

표 II - 2. 우리 기업별 협력 현황

기업명	시기	협력명	협력내용
두산 에너 빌리티	2019.8	NuScale에 지분 투자, 전략적 협력관계 구축 (국내 투자사들과 공동으로 44백만불)	모듈 제작성 검토, 주기기 제작 준비. 2021 60백만불 추가 지분투자. 2022 UAMPS 초도 원자로 모듈 압력용기 제작 2023 주요 기자재 제작 착수 예정
	2021.8	X-energy와 주기기 제작설계 계약 체결	주기기 및 시제품 제작, 설계 최적화 등 SMR 설계 지원 계획
삼성 중공업	2021.6	한국원자력연구원과 해양 원자로 공 동연구 협약 체결	원자력 추진 선박 기술 및 기자재 개발, 해양 원자력 설계와 비즈니스 모델 개발, 성능 검증 및 경제성 평가 협력
	2022.4	Seaborg Technologies(텐마크)와 기술 협력 업무협약 체결	용융염냉각형 원자로 기반의 부유식 원자력 발전 설비 개발 협력
현대건설	2021.11	Holtec International과 사업협력 계약 체결	SMR 사업 동반 진출을 위한 Teaming Agreement
현대ENG	2020.7	한국원자력연구원, USNC와 MOU 체결	MMR의 무탄소 전력, 열·수소 생산· 공급 기술 강화에 5년간 협력 예정
SK그룹	2022.8	SK(주)와 SK이노베이션이 함께 TerraPower에 2억 5000만불을 투자	SK, SK이노베이션, 한수원이 공동으로 테라파워의 SMR 실증 및 상용화 추진

33) 2006년 빌게이츠가 설립한 인텔 액추얼 벤처스의 원자력 발전 자회사

III 종합의견

- 현재 전 세계적으로 약 70개의 다양한 SMR이 경쟁적으로 개발되고 있으며, 2030년대에 상용 운영을 목표로 하고 있음
- SMR은 급격히 성장하고 있는 태양광, 풍력 등의 신재생에너지의 단점을 보완하는 에너지 시스템 구축에 활용할 수 있고, 온실가스 감축 목표가 필수인 새로운 기후변화 대응 체제에서 적극적 대응이 가능한 에너지원이라고 볼 수 있음
- SMR은 출력이 낮고 물리적으로도 소형이기 때문에 계통의 단순화 및 피동형으로 안전성이 비교적 높고, 제품을 공장에서 제작 후 현지에 운반하여 설치할 수 있는 모듈형으로 제작비가 낮으며, 건설 비용을 낮추어 투자위험도를 낮추는 등의 장점이 있음
- 그리고 SMR은 전력공급 용도뿐만 아니라 공정열 생산, 수소·담수 생산, 선박 추진 등 다양한 용도로 활용할 수 있고, 필요한 정도에 따라 유연한 운영이 가능하다는 장점으로 인해 국가별로 다양하게 개발과 도입이 추진되고 있음
- 기존 대형원전 진출이 어려운 전력망 미개발 지역, 전력 수급 안정성이 필요한 특수 지역(데이터 센터, 광산, 공장, 제철소, 해양플랜트 등) 등 에너지 시장에 진출할 수 있으며, MW급 발전소(LNG, 석탄 발전소) 중 온실가스를 배출하지 않는 에너지원에 대한 수요가 증가할 가능성이 높아, 소형원전의 필요성이 상승할 것으로 전망됨
- 시장의 필요성이 상승함에 따라, 전 세계의 원자력 산업의 기술개발이 SMR 중심으로 진행되고 있으므로, 산·학·연이 모두 협력체계를 구축하여 밸류체인 전 과정에 이르는 서비스 체계를 구축할 수 있도록 시스템을 강화해야 함
- 이와 함께 국내 원자력 관련 기업들은 국제경쟁력 확보와 함께 SMR 주요 기자재 제작 기술 확보 및 건설 프로젝트에 참여 및 진출할 수 있도록 역량과 핵심기술을 보유(기술개발 협력, 지분 투자 등)를 위한 다양한 노력을 지속해야 할 것임
- 우리 해외건설은 2009년 UAE 원자력 발전소 수주 이후 이렇다 할 원전 수주 실적이 거의 없으나, 향후 SMR이 자리를 잡음에 따라 본격적 수주로 이어진다면 다시 한번 높은 수주실적으로 이어질 수 있으리라 기대할 수 있음



- 국문 자료

에너지경제연구원. 2020. 7. 24. 세계원전시장 인사이트

에너지경제연구원. 2021. 10. 22. 세계원전시장 인사이트

POINT(정책정보포털). 2022.7.19. 정책뉴스 - 탄소중립 바람 타고 돌아온 ‘원전’ …전 세계가 ‘주목’

<https://policy.nl.go.kr/2020/others/detail.do?rssIndex=148903676>

한국과학기술기획평가원. 2022. 11. 22. KISTEP 브리프. 소형모듈원자로(SMR)

K-공감(대한민국 공식 전자정부 누리집). 2022.12.15. 탄소중립 · 녹색성장 이끄는 SMR 선도국가로 거듭나다

https://gonggam.korea.kr/newsContentView.es?mid=a10201000000§ion_id=NCCD_POLICY&content=NC002&news_id=9d9ceafe-61eb-45a0-a953-80eccbc8426f

한전원자력연료. 원자력발전의역사

- 영문 자료

IAEA. What are Small Modular Reactors.

<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>

IEA. World Energy Outlook 2022

NEA. Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities

https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_57979/small-modular-reactors-challenges-and-opportunities

Westinghouse. <https://www.westinghousenuclear.com/energy-systems/evinci-microreactor>

Nuvia, 2016.3.31. Market and Technical Assessment of Micro Nuclear Reactors

Allied Market Research. 2021.11

USNC. USNC MICRO MODULAR REACTOR (MMRM BLOCK 1) TECHNICAL INFORMATION

- 언론 기사

한겨레. 2022.1.3. SMR 개발 전문가도 “SMR 경제성 대형원전 뛰어넘긴 어려워”

동아사이언스. 2022.9.20. “원전, 친환경에너지” K-택소노미 초안 공개

에너지신문. 2022.10.28. ‘차세대 원자력, 수소, 이차전지’ 12대 국가전략기술 포함

한국경제. 2022.12.12. [단독] 美 3대 SMR에 지분 투자…韓기업 ‘630조 시장’ 수주 파트너로

한국경제. 2023.1.18. DL · 두산, 美 SMR에 2500만弗 투자

한국일보. 2023.6.7. 천년고도 경주...40년 구축한 전 주기 시설로 원전 메카로 비상

매일경제. 2023.2.19. 대형 원전 ‘아킬레스건’ 없앤 SMR … 韓, 美 · 中 넘어설 기회

- 데이터베이스

해외건설종합정보서비스(www.icak.or.kr)