

소형모듈형원전(SMR) 글로벌 산업 동향

두 산 에 너 빌 리 티 (주)
이지훈 부장(jihun.lee@doosan.com)

I. 원자력발전의 Transition

II. 글로벌 SMR 개발 동향

III. SMR 정책 동향 및 결언

국제에너지기구(International Energy Agency)가 발간한 'World Energy Outlook 2021' 보고서의 'Stated Policies Scenario'에 따르면, 2050년까지 세계 에너지 수요는 지금보다 26% 증가할 것으로 보이며 이 중 전기 에너지는 지금보다 2배 수준으로 급증할 것으로 전망하고 있다. 또한, 신규로 증설되는 발전설비는 전 세계적 탄소 발생량 감축 노력에 따라 저탄소 에너지원이 될 것으로 예측하고 있다.

이에 따라 탄소가 거의 발생하지 않으면서 대규모의 전기를 예측가능한 수준으로 생산할 수 있는 원자력 발전에 대한 니즈가 높아지고 있다. 원전 산업계에서는 원자력발전에 쏟아지는 뜨거운 관심에 부응하여 보다 안전하고, 경제적인 기술 개발이 활발히 진행되고 있으며, 소형모듈형원전(SMR : Small Modular Reactor)이 그 대표적인 사례라고 할 수 있다.

소형모듈형원전은 기존 원전보다 원자로의 용량은 작지만 모듈형 설계로 용량을 확장할 수 있는 개념을 채택하고 있으며, 노후 화력 발전소 부지를 재활용할 수 있도록 더 간소화된 설계와 높은 안전성을 추구한다.

전세계 약 70여개 업체가 소형모듈형원전 기술 개발을 진행하여 새로운 시장을 선점하기 위해 경쟁하는 가운데 우리나라 또한 지난 6월 한국형 소형 모듈형 원전인 '혁신형 SMR'이 정부 예비타당성 검토를 통과하여 공식 개발에 착수할 계획이다.

소형모듈형원전이 탄소중립 시대의 에너지분야 Game Changer로 대두되는 만큼 국가적인 차원에서 체계적인 준비를 통해 새로운 성장동력으로 육성이 필요한 시점이다.

* 본고의 내용은 집필자 견해로 당행의 공식입장이 아님

I. 원자력발전의 Transition

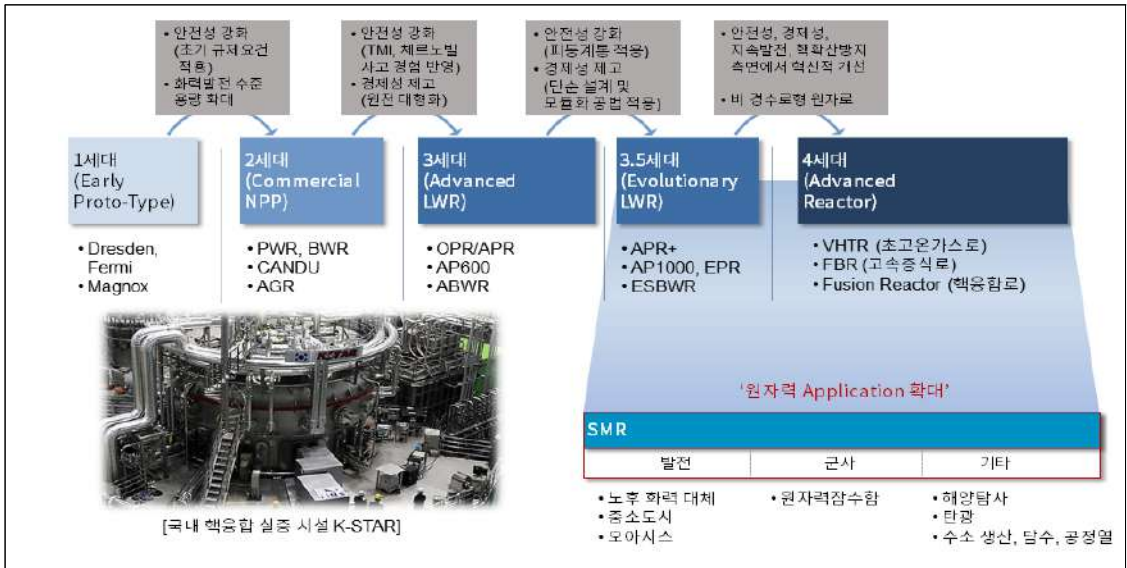
1. 원자력발전의 진화

□ 원자력 기술은 안전성과 경제성, 핵비확산성 등을 제고하는 방식으로 발전

○ 원자력발전은 1950년대 초기 원전 개발 이후 안전성, 경제성, 핵비확산성, 지속 가능성 등을 높이는 방향으로 발전해 왔으며 현재 3세대 및 3.5세대 원자로가 신규 건설의 대부분을 차지하고 있음

- 1세대 원전 : 최초 상업 운전 목적 원전(1950~)
- 2세대 원전 : 안전성, 경제성을 개선한 원전으로 현재 건설되는 경수로, 중수로의 초기 모델 지칭(1970~)
- 3세대 원전 : 용량 확대 등을 통해 2세대 대비 경제성을 20~30% 향상(1990~)
- 3.5세대 원전 : 새로운 안전개념을 도입한 3세대 원자로(2010~)
- 4세대 원전 : 안전성, 경제성, 핵비확산성, 핵연료 활용도 측면에서 혁신적인 개념을 도입하여 개선한 차세대 원자로(2030~)

〈그림 1〉 원자력발전의 변천사



자료 : 두산에너지(2022), '소형모듈형원전과 원자력수소 동향'

□ **일본 후쿠시마 원전사고와 대형원전의 공사 지연 경험으로 소형모듈형원전, 4세대 원자로와 같은 새로운 기술에 대한 니즈 증가**

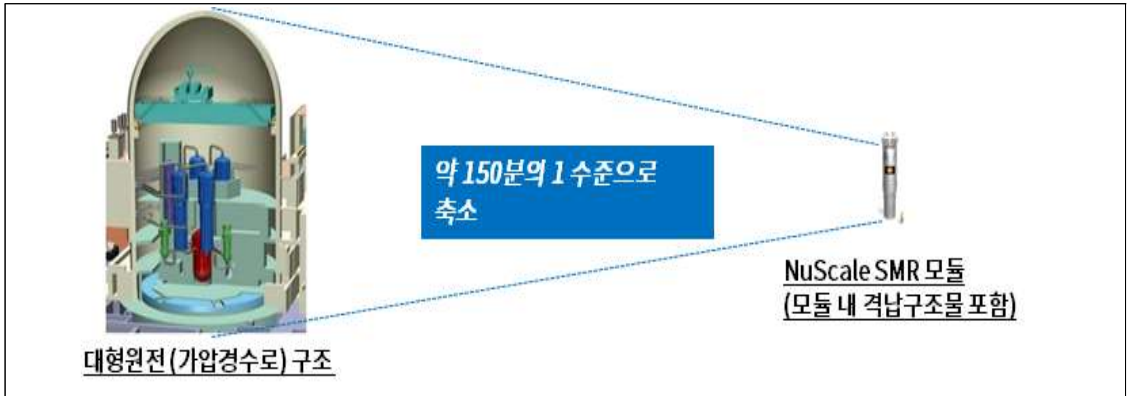
- 2000년대 초반 고유가와 에너지 문제에 대한 대책으로 미국, 유럽 및 신흥국들의 원전 건설 본격화
 - (미국) Three Mile Island 원전 사고(1979년) 이후 Virgil C. Summer, Vogtle 부지에서 원전 건설 재개
 - (유럽) 프랑스 Flamangvile, 핀란드 Olkiluoto 등에서 신규 원전 건설
 - (신흥국) 중국은 연 5~7기 규모의 원전 굴기 계획을 발표하였으며, 인도는 프랑스, 미국, 러시아 등으로부터 대규모 원전 도입계획 발표
- 미국 Westinghouse, 프랑스 Framatome 등의 신형 원자로가 미국, 핀란드, 프랑스, 중국 등에서 설계, 시공 등의 문제로 대규모 공사 지연 초래
 - Westinghouse가 건설 중인 미국 조지아주 Vogtle 3, 4호기 원전은 시공문제로 완공 목표 시점 2017년 대비 5년째 공기 지연 중이며 건설 비용도 140억 달러에서 300억 달러로 증가
 - Framatome의 EPR 노형을 건설 중인 핀란드 Olkiluoto 3호기는 설계문제로 2009년 완공 목표 대비 13년 지연 된 2022년 3월 가동을 시작하였으며 건설비용이 32억 유로에서 110억 유로로 증가
- 미국과 프랑스의 부진으로 러시아, 중국은 정부 주도하에 공격적인 Financing 정책을 통해 대규모 원전 건설을 수주하였으며, 한국은 UAE에 4기 원전을 납기와 비용 측면에서 성공적으로 건설하여 서방세계 원전 기술의 보루로 평가
- 2011년 일본 후쿠시마 원자력발전소에서 쓰나미에 의한 소내 정전으로 중대 사고가 발생함에 따라 일부 국가를 제외한 다수의 국가에서 원전 건설 계획을 보류하는 한편, 각국은 규제기관을 중심으로 원전 안전성 강화 추진
- 대형원전 건설시 투자 Risk와 후쿠시마 사고를 통한 원전 안전성 우려 증가로 새로운 원자력 기술에 대한 요구가 높아지게 되었으며, 그 결과 소형모듈형 원전(SMR)과 4세대 원자로에 대한 개발 확대

2. SMR(소형모듈형원전) 개발 확대

□ SMR은 대형원전 대비 단위 용량이 적고, 모듈형으로 설계된 원전을 통칭하며, 건설이 보다 용이하고 다양한 분야에 활용 가능한 장점이 있음

○ (정의) SMR은 기존 원전대비 적은 용량(300MWe 이하)의 중소형 원자로를 지칭하며, 경수로, 중수로, 고속로, 고온로 등 다양한 중소형 원전을 통칭

<그림 2> 대형원전과 SMR의 차이점



자료 : 두산에너지(2022), '소형모듈형원전과 원자력수소 동향'

- (특징) SMR은 기존 대형원전과 비교하여, 안전성, 경제성, 유연성 측면에서 유리
- (안전성 제고) 피동 안전시스템을 채택하고, 단순화된 설계, 일체형 설계로 배관 파단 사고 등의 가능성을 제거하여 높은 안전성 확보
 - (모듈형 설계) 모듈화로 다수의 모듈을 동시 설치, 일괄 설치를 통해 시공 작업을 대폭 감소시켜 Risk를 최소화
 - (부지 요건 완화) 대형원전 대비 절반이하의 부지에 건설이 가능하며, 안전성 확대로 주변 대피구역을 최소화하여 기존 화력발전소 부지에도 건설 가능
 - (부하 추종 운전) 태양광, 풍력과 같은 신재생 에너지의 간헐성을 보완하기 위해 부하 추종 운전(Load Following) 기술을 채택하여 출력조절 가능
 - (다목적 활용) 전력 생산 뿐만 아니라 수소 생산, 공정열 활용, 지역난방, 해양 탐사 등 다목적 이용이 가능하도록 설계

〈표 1〉 대형원전과 소형모듈형원전 비교

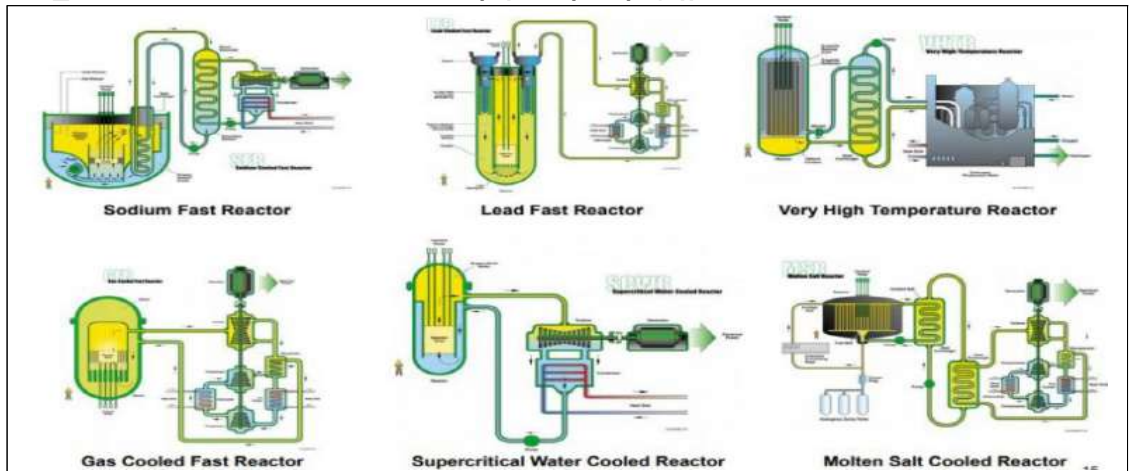
항목	대형원전	SMR(소형모듈원전)
안전성	체르노빌, 후쿠시마 등 대형사고 발생 이력이 있음.	소형화, 피동형으로 사고 발생위험을 낮춤.
운영 탄력성	대용량 출력이 고정됨. (기저부하)	Scalable & 부하추종운전이 가능함. (분산전원 및 신재생에너지의 백업 전원으로 활용 가능성)
건설 Risk	현장작업의 비중이 높음 (건설비 Risk ↑)	공장작업의 비중이 높음 (건설비 Risk ↓)
부지 면적	573m ² /MWe (APR1400 기준)	대형원전 대비 단위 출력 당 필요 부지면적 1/2
응용분야	발전용	담수, 수소생산, 정유, 선박 추진용

자료 : 에너지경제연구원(2021), "세계원전시장 인사이트_2021.10"

□ SMR은 용량과 적용 기술에 따라 분류하며 대형원전 대비 규모와 종류가 다양

- (용량 기준) SMR의 단위 원자로 용량 기준으로 10MWe~300MWe 규모의 중소형 원자로와 10MWe 이하의 초소형 원자로(Micro Reactor)로 구분
- (노형 기준) SMR의 채택 노형에 따라 기존 상용 기술을 적용한 3세대와 고온가스로, 소듐고속로, 용융염원자로 등 차세대 기술을 적용한 4세대로 구분

〈그림 3〉 4세대 원자로의 종류



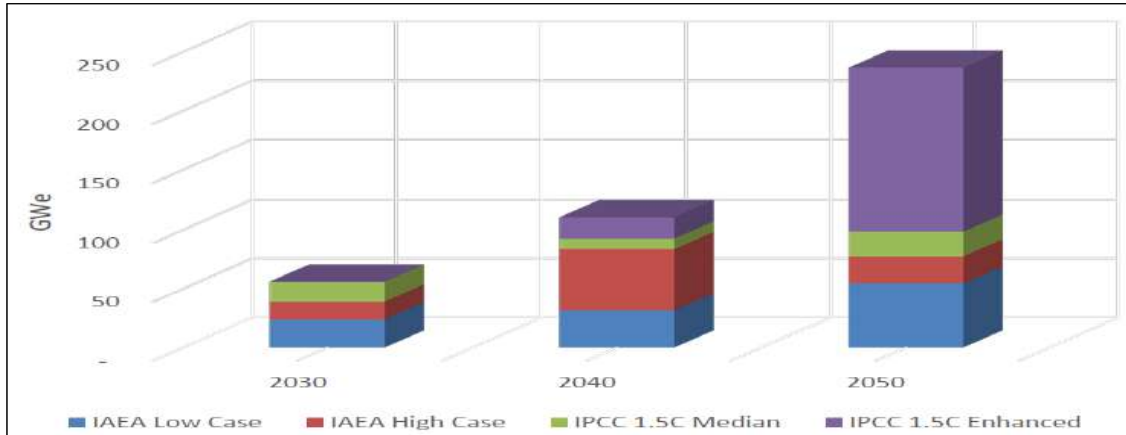
자료 : Gen.IV International Forum, 'Generation IV Systems'

3. SMR 시장 규모 전망

□ 미국 국립연구소인 Idaho National Laboratory는 2050년 신규 원전의 50%가 SMR로 건설될 것으로 전망

○ Idaho National Laboratory는 글로벌 분산전원 시스템의 수요로 SMR이 2030년 전체 신규원전 중 30%에서 2050년 50%로 비중 확대될 것으로 전망

〈그림 4〉 시나리오별 SMR시장 규모 전망



자료 : Idaho National Laboratory (2021), 'Global Market Analysis of Microreactors'

○ Idaho National Laboratory는 전체 원전 시장에서 건설되는 원전 종류별 비중이 대형원전의 경우 4세대 원전이 확대되는 방향으로, SMR의 경우 초소형 원자로가 확대되는 방향으로 진행될 것으로 전망

〈표 2〉 원전 종류별 건설 비중 전망

Year	Large Transmission Markets		Medium to Small Distributed Markets	
	Gen III/III+Large	Gen IV Large	SMRs(Gen III/IV)	Microreactors
2030	90%	10%	95%	5%
2040	50%	50%	75%	25%
2050	20%	80%	50%	50%

자료 : Idaho National Laboratory(2021), 'Global Market Analysis of Microreactors'

II. 글로벌 SMR 개발 동향

1. SMR 개발 현황

□ 북미, 유럽 중심으로 전세계 70여개 업체가 SMR을 경쟁적으로 개발 중

○ 탄소 저감 목표 달성, 노후화력 발전 대체, Off-Grid 수요 등의 목적으로 약 70여개* 업체가 다양한 SMR 노형 개발 진행 중

* 개념설계 단계 이상 진행되거나 엔젤 투자 확보 기준

〈표 3〉 글로벌 주요 SMR 개발 현황

노형	용량	Type	개발사
NuScale	77MWe × 12	경수로	Nuscale Power, 미국
Rolls Royce	470MWe	경수로	Rolls Royce, 영국
KLT-40S	35MWe × 2	경수로	OKBM, 러시아
CAREM-25	25MWe	경수로	CNEA & INVAP, 아르헨티나
Xe-100	80MWe × 4	고온로	X-energy, 미국
HTR-PM	210MWe × 2	고온로	칭화대, 중국
MMR	5MWe × 2	고온로	USNC, 미국
Seaborg	100MWe × 2	용융염원자로	Seaborg, 덴마크
ThorCon	250MWe × 2	용융염원자로	ThorCon, 미국
USNC	5MWe	고온로	USNC, 캐나다
eVinci	5MWe	Heat Pipe 원자로	Westinghouse, 미국

자료 : 에너지경제연구원(2021), "세계 원전시장 인사이트_2021.10"

2. 주요 SMR 개발 동향 및 국내 협력 현황

□ [Nuscale, 미국] 검증된 가압경수로 기술과 수조 속에 원자로를 배치한 혁신적 안전개념 도입으로 원전 시장의 Game Changer로 평가됨

[기술개발 현황]

- NuScale SMR은 검증된 상용 경수로 기술을 기반으로 안전성과 경제성을 획기적으로 향상시킨 노형
- 원자로, 증기발생기, 가압기와 같은 주요기기를 하나의 모듈에 집약시키고, 대형 원전의 거대 콘크리트 구조물인 격납 건물까지 모듈에 일체화
 - 모듈 수를 조절하여 출력조정이 가능하며(1개당 77MWe, 최대 12모듈 설치 가능), 터빈/발전기 및 I&C 설비도 독립적으로 모듈화해 원자로와 연결
- 피동형 설계로 외부 전력공급이 중단되어도 안전성을 유지할 수 있으며, 전력 수요에 따라 모듈 개수를 조절하여 운전 가능
- 미국 원자력 규제위원회가 SMR 최초로 2020년 8월 설계 인증하였으며, 현재 SMR 중 가장 개발 진도가 빠른 것으로 평가
- 설계 및 인허가 단계에서 다양한 실증시험 및 Test를 진행하여 설계 완성도를 높이고 있으며, 미 에너지부 지원, 전략적·재무적 투자자 유치, SPAC 상장 등을 통해 개발비 투자 유치 완료

〈그림 5〉 NuScale SMR

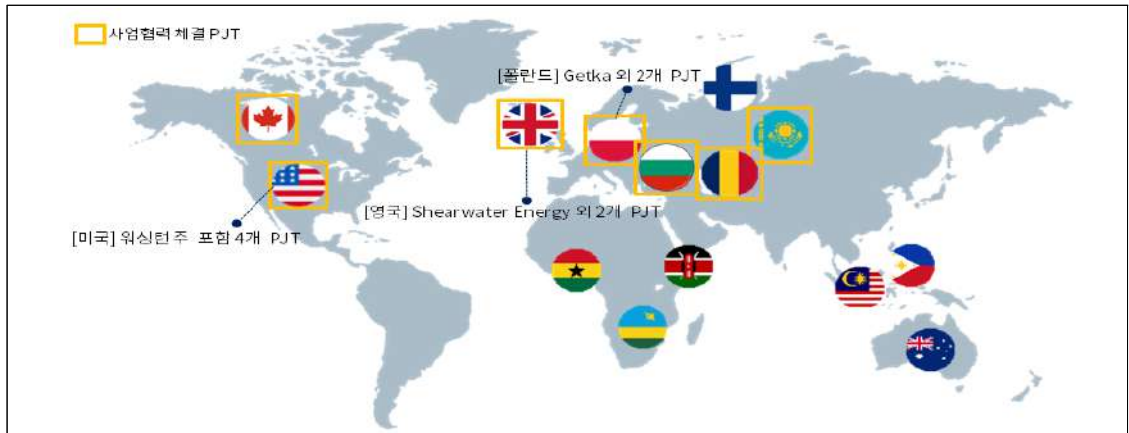


자료 : www.nuscalepower.com

[사업화 계획]

- 초도호기는 미국 유틸리티들의 연합체인 UAMP가 Idaho National Laboratory 부지에서 '29년 상업운전을 목표로 발주할 예정이며, 미국 에너지부는 \$1.4b (약 1.9조원) 지원책을 2020년 10월 발표
 - UAMPS가 NuScale의 대주주인 Flour와 EPC 계약 준비를 위한 Development Agreement를 2020년 12월 체결함에 따라 발주 가능성 높아지는 중
- NuScale은 전세계 12개 프로젝트(7개국)에 대한 사업협력을 체결하였으며, 추가 7개 국가에서 건설에 대한 관심을 표명중

<그림 6> NuScale 사업화 추진 현황



자료 : 두산에너지(2022), '소형모듈형원전과 원자력수소 동향'

[국내업체 협력 현황]

- 2019년 두산에너지(이하 두산E)는 IBK투자증권 등 국내 투자사들과 공동으로 NuScale에 \$44백만(약 520억원)규모의 지분 투자를 통해 전략적 협력관계를 구축
- NuScale SMR 프로젝트에서 두산E의 공급범위는 대형 주단소재 공급 및 원자로 모듈 핵심 기자재 제작으로,
 - NuScale 원자로 모듈에 대한 제작성¹⁾ 검토 연구를 2019년 8월 착수하여 2021년 1월 성공적으로 마무리 하였으며 현재 NuScale의 핵심 기자재인 원자로 모듈의 제작을 준비 중

1) 설계 의도에 따라 용이하게 제작하는 방안을 검토하여 설계 최적화 방안을 제안하고, 제작공정을 수립하는 연구

- 2021년 두산E는 국내 투자사들과 \$60백만(약 712억원)의 추가 지분 투자를 실시하여 추가 사업기회 확보를 추진

□ [Xe-100, 미국] 고온가스로 기반의 4세대 SMR로 경수로 대비 고온의 증기를 활용하여 다목적 활용 가능

[기술개발 현황]

- 기존 3세대 원전의 대부분을 차지하는 가압경수로 (Pressurized Water Reactor, PWR) 노형과 달리, 4세대 원전인 X-energy사의 고온가스로 Xe-100은 물이 아닌 헬륨을 냉각재로 사용하여 750°C 고온으로 운전 가능
 - 모듈 하나당 80MWe의 용량으로 4개의 모듈이 합쳐진 320MWe급을 목표
- 고온의 헬륨 가스는 565°C의 증기를 생산하여 전력생산 효율이 상대적으로 높을 뿐만 아니라, 고온을 활용하여 수소를 생산하거나 화학, 정유 공장에 열을 공급하는 등 다목적으로 활용 가능
- X-energy사가 개발한 TRISO-X 핵연료는 세라믹, 흑연 등 3중 코팅된 우라늄 입자를 테니스 공 크기의 핵연료로 만든 것이며, Xe-100 원자로 1대에는 TRISO-X 핵연료가 약 22만개 장전 예정
- 고온가스로는 불활성 기체인 헬륨 기체를 냉각재로 사용하여 상변화나 화학적 반응으로부터 안전하며, 초고온에서도 핵연료 코팅 재질이 녹지 않아 중대사고 발생 확률을 현저히 낮출 것으로 평가

<그림 7>

TRISO 핵연료 및 Xe-100 주기기



자료 : x-energy.com

[사업화 계획]

- 미국 에너지부는 2020년 10월 차세대 원전 실증로 건설 프로그램(ARDP)에 X-energy사와 TerraPower사를 선정하여 2027년까지 설계 및 초도호기 건설에 자금 지원 예정
 - Xe-100 설계 개발에 \$0.3b, 초도호기 건설에 \$0.9b을 지원 예정
- 미국 발전사업자인 Energy Northwest, Grant County PUD는 X-energy사와 워싱턴주 Columbia 원전 부지에 Xe-100을 건설하기 위해 사업 양해각서 체결

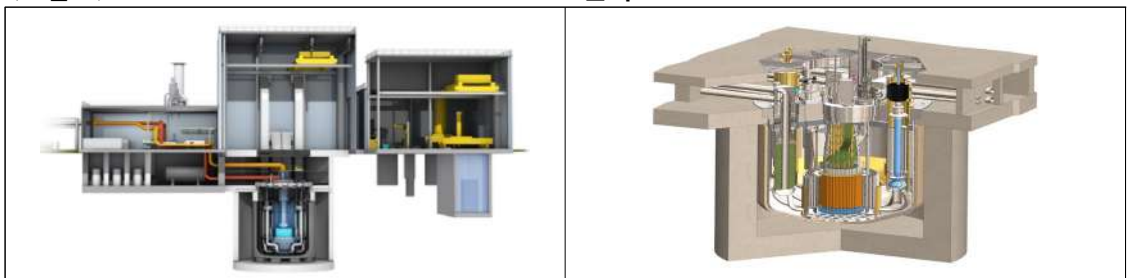
[국내 업체 협력 현황]

- 두산E는 2021년 8월 X-energy사와 주기기 제작설계 용역 계약을 체결하고 주기기 제작방안 및 설계 최적화 방안 연구, 시제품 제작 등을 수행 중
- [Terrapower, 미국] 4세대 원자로의 일종인 소듐고속로 계열의 Natrium 원자로를 개발 중이며 안전성과 핵연료 이용 측면에서 강점 보유

[기술개발 현황]

- TerraPower사는 2006년 설립되어 345MWe규모의 소듐(=나트륨)을 냉각재로 활용한 NATRIUM 원자로를 개발 중
 - 액체금속인 소듐을 냉각재로 활용하여 고온에서도 기화되지 않아 고온 운전이 가능하며, 사용후연료를 기반으로 기존 핵연료보다 농축비율이 5~20%로 높은 HALEU(High-Assay, Low Enriched Uranium)을 사용하여 연료 이용 효율을 제고
- 출력의 유연성을 확보하기 위해 Molten Salt Storage System이라는 에너지 저장장치를 발전소 시스템 내에 포함하고 있어 간헐성을 띄는 재생에너지와 결합하여 전력망에 안정적으로 전원 공급 가능

〈그림 8〉 Natrium 원자로



자료 : www.terrapower.com

[사업화 계획]

- 미국 에너지부는 ARDP에 X-energy와 더불어 TerraPower사의 Natrium 원자로를 선정하여 설계 개발 및 초도호기 건설에 \$12억(약 1.4조원) 지원 예정
 - TerraPower사는 미국 와이오밍주 석탄공장 부지에 2027년까지 Natrium 원자로를 건설할 계획

[국내 업체 협력 현황]

- SK(주)와 SK이노베이션은 2022년 8월 TerraPower사에 \$2.5억(약 3천억원)의 지분투자를 발표하며, 국내와 동남아시아 등에서 TerraPower 상용화 사업 공동 추진할 계획

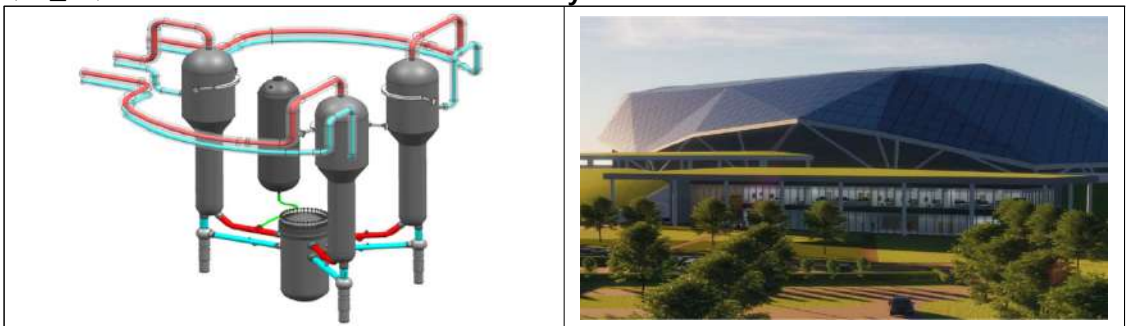
□ [Rolls-Royce, 영국] 기존 가압경수로와 유사한 설계 방식의 470MWe급 SMR을 개발하여 자국 내 대규모 건설을 목표

[기술개발 현황]

- 영국 Rolls-Royce사는 1980년대부터 330MWe급 Safe Integral Reactor를 개발한 바 있으며 2015년부터 약 150여명의 연구원이 신규 SMR을 개발 중
 - Rolls-Royce SMR은 상용 경수로와 유사한 3-Loop형 가압경수로로 전기출력은 470MWe, 설계 수명은 60년
- Rolls-Royce가 주도하는 UK SMR 컨소시엄에는 현재 9개 업체가 참여 중이며, 영국 내 인허가 취득을 준비 중

〈그림 9〉

Rolls-Royce SMR



자료 : www.rolls-royce-smr.com

[사업화 계획]

- Rolls-Royce사는 2050년까지 영국 내 7GW의 수요(자사 SMR기준 16기)를 전망하고 있으며, 이로 인해 약 4만여명의 고용창출 예상
- Rolls-Royce는 영국 정부에 한화 약 8천억원 규모의 예산지원(5:5 Cost Share)을 요청하였으며 2019년 정부로부터 약 540억원 규모의 지원금 수령
- **[USNC, 미국] 5MWe 규모의 초소형 원자로를 개발 중이며 고온가스로 기술을 채택하여 전력, 열원, 수소 생산 목적으로 활용 가능**

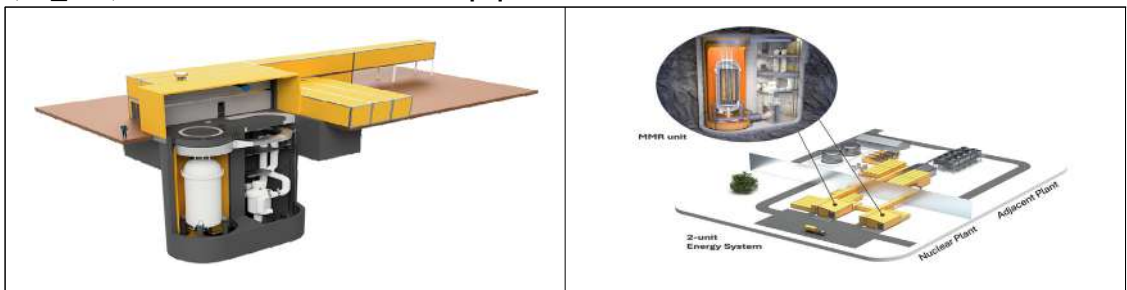
[기술개발 현황]

- 2011년 설립된 미국의 USNC사는 2015년부터 5MWe급 Micro Modular Reactor(MMR)라고 명명한 초소형 원자로를 개발 중
- MMR은 Xe-100과 유사하게 TRISO 핵연료를 적용하고, 냉각재로 헬륨 가스를 사용하는 고온가스로 짧은 건설 기간(36개월)을 장점으로 강조
 - MMR은 캐나다 북부 탄광지대와 같이 Off-Grid 지역에서 전력, 열원, 수소 등 다양한 Solution 제공이 가능

[사업화 계획]

- USNC사는 캐나다 발전사업자인 OPG(Ontario Power Generation)과 GFP(Global First Power)라는 합작회사를 설립하였으며, USNC Demo Plant의 운영 및 인허가를 담당할 예정
- 캐나다 규제기관인 CNSC는 USNC에 대한 VDR(Vendor Design Review) 1 단계를 종료하였으며 건설부지에 대한 평가 완료

〈그림 10〉 USNC사의 Micro Modular Reactor



자료 : www.usnc.com

[국내 업체 협력 현황]

- 현대엔지니어링, 한국원자력연구원은 2020년 USNC사와 차세대 원자로 기술 개발을 위한 MOU를 체결하였으며, 현대엔지니어링은 2022년 USNC사와 지분투자계약을 체결하여 MMR의 글로벌 EPC 사업권을 확보

- **[Westinghouse, 미국] 5MWe급 초소형 원자로인 eVinci를 개발 중이며 Heat Pipe 기반으로 시공이 거의 필요 없는 장점을 가짐**

[기술개발 현황]

- 미국 Westinghouse사는 5MWe급 초소형 원자로인 eVinci의 개념설계를 완료하였으며 Heat Pipe를 이용한 간소화된 구조를 장점으로 홍보
 - eVinci는 TRISO 핵연료를 사용하며, Plant 전체를 공장에서 생산하여 현장에서 간편한 조립을 통해 시공작업을 최소화한 개념을 채택

[사업화 계획]

- Westinghouse사는 2027년까지 eVinci를 건설할 계획이며, 현재 미국 및 캐나다 인허가 기관이 eVinci의 설계를 검토 중

<그림 11>

Westinghouse사의 eVinci 원자로



자료 : www.westinghousenuclear.com

□ [한국수력원자력, 한국] 혁신형 SMR 개발 계획을 발표하였으며 '28년까지 경수로 기반의 4-Module형 SMR 개발 예정

[기술개발 현황]

- 한국수력원자력은 2020년 4월 산학연 전문가로 구성된 '혁신형 SMR 추진 위원회'를 출범하여 신형 SMR의 개발 방향 및 추진체계에 대한 논의와 최상위 요건 및 개념안 개발에 착수
 - 2021년 9월 정부 예비타당성 조사를 신청하였으며, 2022년 6월 총 사업비 3,992억 규모로 예타를 통과하여 2028년까지 인허가 획득을 목표로 개발 예정
- 혁신형 SMR은 무봉산 운전, 피동 안전개념 등을 채택하여 소내 정전 시에도 안전성을 유지할 수 있고, 사고 시에도 대피가 필요없는 수준의 안전성을 확보할 계획
 - 170MWe의 원자로 모듈을 4개까지 설치 가능하도록 하여 경제성을 제고하였으며, 대형원전과 유사한 수준의 발전단가를 목표
- 혁신형 SMR 개발은 한국수력원자력을 비롯하여 한국원자력연구원, 한국전력기술, 두산E 등 Team Korea 주요 관계사들이 대거 참여 예정

<그림 12> 혁신형 SMR 개발 계획 및 개념도



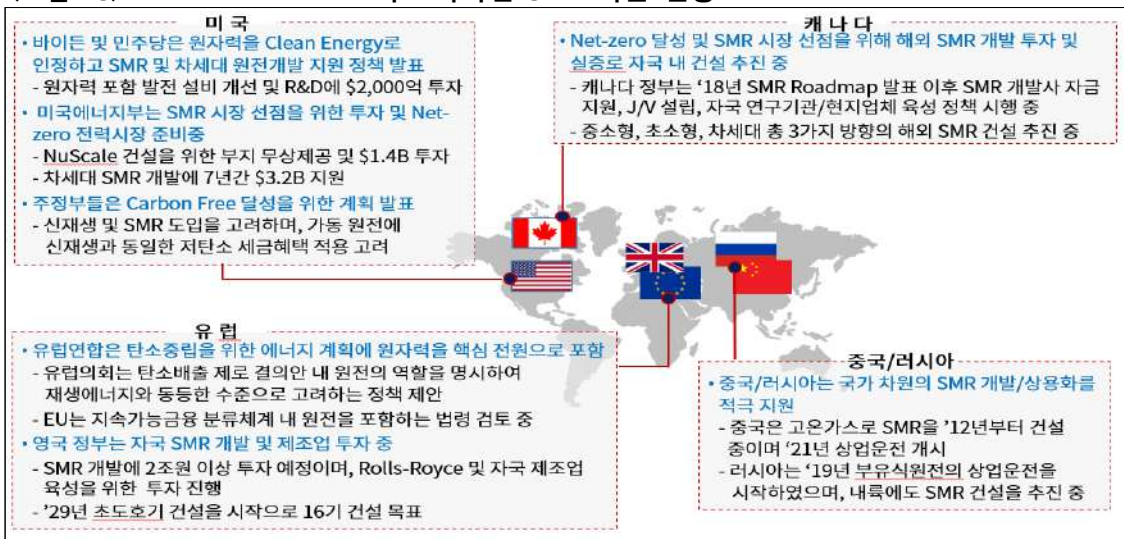
자료 : 에너지경제연구원(2022), '세계원전시장 인사이트_2022.7'

Ⅲ. SMR 정책 동향 및 결언

1. SMR 정책 동향

- 주요 원자력 강국들은 SMR 시장을 선점하기 위해 대규모 지원책을 발표하여 신규 노형 개발 및 건설 지원
 - SMR의 상용화 성공을 위해서는 수조원 규모의 투자 유치와 발전사업자들의 초도호기 건설 Risk를 보상하는 초기 자금 지원이 핵심 요소
 - 미국 에너지부는 NuScale, X-energy, TerraPower사에 자금 지원을 약속 등 주요국 정부는 개발비 및 초도호기 건설비 지원에 적극적
 - 미국 및 유럽은 저탄소 에너지원 확대 및 원전산업 부흥 목적으로 신재생E 뿐 아니라 원전에도 보조금을 지급하거나 세제 혜택을 주는 정책을 발표
 - EU는 Taxonomy에 원자력을 포함하여 신재생E 수준의 정책·금융 지원 예정
 - 미국은 IRA(Inflation Reduction Act)를 통해 원전을 청정에너지로 포함하여 세제 지원 예정

<그림 13> 주요국가별 SMR 지원 현황



자료 : 두산에너지리티(2022), '소형모듈형원전과 원자력수소 동향'

- SMR 노형의 개발과 더불어 미국, 영국 등은 자국 내 원전 제조기반을 확보하기 위해 기술개발 및 설비투자 지원 중
 - 미국 에너지부는 EPRI(Electric Power Research Institute)를 통해 자국내 SMR 건설 시 납기를 단축하고 품질을 높일 수 있는 혁신제조 기술 개발 지원중으로, 이에 따라 미국 원전 업체인 Holtec사는 SMR 제조 공장을 자국내 건설할 예정
 - 영국 정부는 원전운영사, 터빈설계사, 종합설계사, 연구기관 등 10개의 영국 회사로 구성된 NAMRC(Nuclear Advanced Manufacturing Research Center)에 SMR 제조기술 확보 및 사업 준비를 위한 자금을 지원 예정

□ 국내는 혁신형 SMR의 성공적인 개발을 위해 정부, 국회 차원에서 지원 예정

- 2021년부터 국회, 정부, 산업계, 학계 등이 참석하여 혁신형 SMR 추진 전략을 논의하는 ‘혁신형 SMR 국회 포럼’이 주기적으로 개최되었으며 개발 방향, 정부 지원 방향, 규제 마련 등의 주제가 논의 중
- 환경부는 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)초안에 원전을 그린E로 포함하였으며, 최종 확정시 혁신형 SMR 개발 및 상용화에 대한 민관의 지원이 보다 용이해질 전망
- 2022년 10월 정부는 12대 국가전략기술에 SMR을 포함하여 발표하고 2028년까지 독자 SMR노형을 확보할 계획
 - 5년이내 안전성·경제성·유연성 등 세계 최고 SMR제조·핵심기술 확보
 - 중장기(5~10년)간 SMR 표준설계인가 취득을 통한 세계시장 진출, 수소·공정열 생산 등 4세대 원자로 기술 개발

2. 두산E의 SMR 사업 준비 현황

□ 국내 및 해외에서 개발되는 SMR의 기자재 공급권 확보를 위한 기술 개발 및 설비 투자 진행 중

- 두산E는 국내 유일의 한국형원전 원자로 및 핵심기자재 공급사이며, 미국 Westinghouse사의 AP1000 노형의 원자로 및 증기발생기, 가동원전 교체 기자재 등을 공급

- NuScale사, X-energy사 등 대다수의 SMR 개발사는 원자로 설계를 전문으로 하는 팹리스(Fables)기업으로, 상용화를 위해 전문 제작업체와 협력을 통해 제작성 검토 등을 통한 설계 보완 및 제작기술 사전 확보가 요구
- 기존 대형원전의 원자로, 증기발생기와 같은 핵심 기자재는 노형이 달라도 유사한 설계와 제작방식을 채택한 반면, SMR은 일체형, 모듈형 설계 개념 채택과 3세대, 4세대에 걸친 다양한 방식 존재로 제작 난이도가 높을 것으로 업계는 예상
 - SMR은 단위 용량이 대형원전보다 작으나, 일체형 설계로 기자재는 더 크고 복잡한 구조를 가지는 반면, 경제성 확보를 위해 대형 원전보다 더 짧은 납기를 요구
- 두산E는 NuScale사, X-energy사 모델의 제작성 검토에 참여하여 제작기술 연구 및 설계 보완을 논의 중이며, 지분 투자 등을 통해 SMR 개발사와 협력 관계를 구축하는 한편 공급권 확보를 추진
 - 해외 SMR 기자재 공급권을 확보할 경우 한국형 원전을 통해 경쟁력을 입증한 다수의 원전 중소기업이 제작에 참여할 예정

<그림 14> 대형원전과 SMR의 형상 비교



자료 : 두산에너지(2022), '소형모듈형원전과 원자력수소 동향'

- 한편 분말소재기술, 전자빔용접기술 등 SMR 혁신 제조기술을 선제적으로 개발하여 해외 제작업체와의 경쟁에서 우위를 확보할 전략

<그림 15>

SMR 혁신 제조기술



자료 : 두산에너지(2022), '소형모듈형원전과 원자력수소 동향'

3. 결론

- 전 세계적으로 다양한 SMR이 경쟁적으로 개발되고 있으며, 이러한 SMR들은 2030년 이후 본격 상용화되어 세계 발전시장의 주요 전력원이 될 전망
 - 미국(18개사), 러시아(17개사), 중국(8개사) 등 약 70여개 업체가 SMR 시장을 선점하기 위해 개발 경쟁을 펼치고 있으며, 검증된 가압경수로형 뿐만 아니라 차세대 원자력기술이 대거 적용될 예정
 - 미국, 캐나다, 영국 등은 자국 내 SMR을 다수 건설할 계획을 가지고 있으며, 사우디, 체코, 폴란드, 루마니아, 요르단, 가나 등 다양한 국가들이 SMR 도입에 관심을 보이는 중
- SMR이 국내 원전 산업계의 새로운 성장 동력이 되기 위한 혁신형 SMR 개발 집중과 더불어 해외 개발 중인 SMR의 기자재 공급권 확보를 위한 지원 필요
 - 2028년까지 인허가 획득을 목표로 하는 혁신형 SMR 개발을 위해 정부차원의 기술개발 지원과 규제 기반 마련이 요구되며, 해외 수출을 위한 국내실증 여부 등의 검토 필요
 - 국내 원전 제조기업의 경쟁력을 바탕으로 해외에서 상용화 예정인 SMR의 제작 공급권을 확보하기 위해 기술개발에 대한 적극적인 정부의 투자 및 민관의 금융 지원 필요

참고문헌

[국문자료]

두산에너지빌리티(2022), “소형모듈형원전과 원자력수소 동향”
에너지경제연구원(2021), “세계시장 원전 인사이트”

[영문자료]

Gen.IV International Forum, ‘Generation IV Systems’
Idaho National Laboratory (2021), ‘Global Market Analysis of Microreactors’
International Atomic Energy Agency (2021), ‘What is Small Modular Reactors?’
International Energy Agency (2021), “World Energy Outlook 2021”
NuScale, <http://www.nuscalepower.com>
Rolls-Royce, <http://www.rolls-royce-smr.com>
TerraPower, <http://www.terrapower.com>
USNC, <http://www.usnc.com>
Westinghouse, <http://www.westinghousenuclear.com>
X-energy, <http://www.x-energy.com>