

## 재생에너지 전환 시대, SMR의 전략적 역할

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터  
정준환 전임연구원(helpme@kdb.co.kr)

- I. 전력공급 구조 변화와 해결 과제      III. SMR의 전략적 활용 사례
- II. SMR(Small Modular Reactor)의 가치      IV. 결론 및 시사점

전력공급의 중심이 재생에너지로 빠르게 이동함에 따라 유연성 자원 확보와 송전망 접속 지연 문제가 해결 과제로 부상하고 있다. 다만, 기존의 유연성 자원 활용은 구조적 제약으로 인해 재생에너지 전환에 충분히 대응하기 어렵고, 송전망 확충 역시 사회적 수용성 등의 제약으로 근본적 해결책이 되지 못해 입지 분산형 공급 전략이 필요한 상황이다.

이러한 상황에서 소형·모듈형 설계를 기반으로 기존 대형 원전 대비 안정성을 높인 차세대 원자력 발전 SMR(Small Modular Reactor)이 새로운 전략 자원으로 주목된다. SMR은 입지 분산이 가능해 재생에너지의 송전망 확충 부담을 완화하며, 무탄소 부하추종 전원으로 전력계통의 유연성 확보에 기여한다. 또한, 재생 에너지 전환과정에서 산업용 열 생산 등 재생에너지가 대응하기 힘든 부분을 보완할 수 있다.

각국은 재생에너지 전환과정을 보완하는 전략적 자원으로 SMR을 활용하는 방안을 추진 중이다. 미국과 루마니아는 24시간 가동이 필요한 기저 전원 공백을 보완하기 위해 SMR 활용을 추진 중이며, 캐나다는 전력망과 연계된 부하 추종형 SMR 실증사업을 통해 재생에너지 변동성 대응을 추진하고 있다. 핀란드와 일본은 전기 외 에너지 수요 대응을 위해 고온가스로형 SMR 활용을 검토 중이며, 러시아와 미국은 재생에너지 공급이 어려운 사각지대 보완을 위해 SMR을 자립형 전원으로 활용하는 방안을 추진 중이다.

이처럼 SMR은 재생에너지의 기능적 공백과 구조적 한계를 보완할 수 있는 전략적 자원으로, SMR과 재생에너지를 기능과 역할이 다른 상호 보완적 전원으로 함께 추진하는 것이 필요하다.

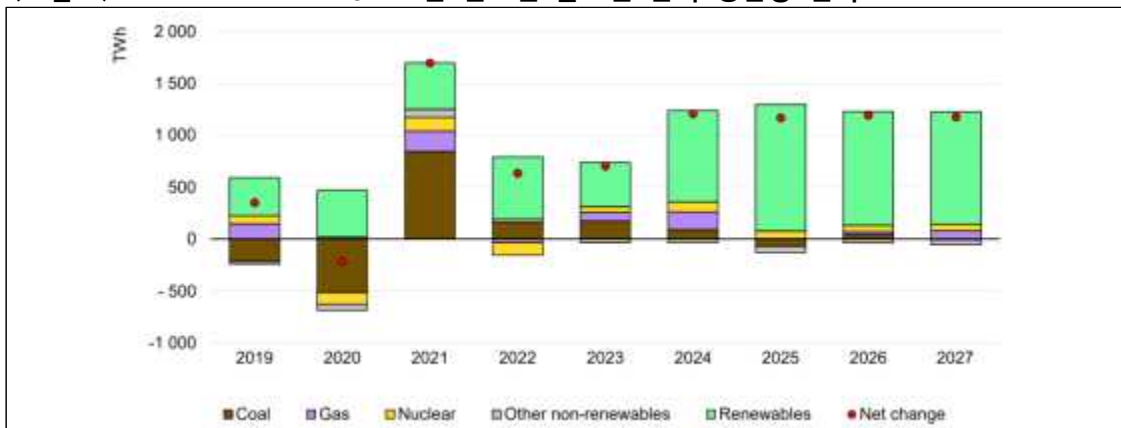
\* 본고의 내용은 집필자 견해로 당행의 공식입장이 아님

## I. 전력공급 구조 변화와 해결 과제

### □ 탄소중립 대응이 가속화되면서, 전력공급의 중심이 재생에너지로 빠르게 이동 중

- 재생에너지는 대표적인 무탄소 전원으로, 각국은 탄소배출 감축을 위한 중심 수단으로 재생에너지 확대를 선택
  - 화석연료 기반 전력 생산은 전체 탄소배출의 40% 이상을 차지하며, 전력공급의 무탄소화가 탄소중립 달성의 핵심으로 인식됨
  - EU의 REPowerEU<sup>1)</sup>, 중국의 RPS<sup>2)</sup> 제도 등 각국은 재생에너지 비중 확대를 국가 정책으로 명시
- IEA<sup>3)</sup>는 '25년 글로벌 재생에너지 발전량이 석탄 화력의 발전량을 추월하며, '24~'27년 글로벌 추가 발전량의 약 97%가 재생에너지로 공급될 것으로 전망
  - '24년 글로벌 재생에너지 발전량은 전년 대비 10% 성장
  - '24~'27년 글로벌 추가 발전량 약 3,500TWh 중 태양광이 50%, 풍력이 33%를 차지하며 총 3,400TWh의 발전량이 재생에너지로 공급될 것으로 전망

〈그림 1〉 '19~'27년 연도별 글로벌 전력 생산량 변화



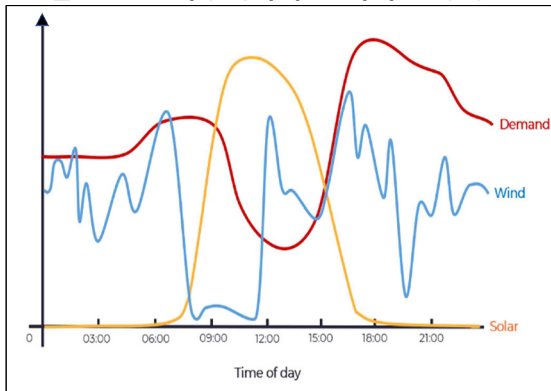
자료 : IEA(2025), "Electricity 2025"

- 1) 2030년까지 재생에너지 비중을 45% 늘리고, 재생에너지 투자를 확대하는 내용의 EU 정책
- 2) RPS(Renewable Portfolio Standards, 재생에너지 의무 할당제) : 특정 산업군에 대해 재생에너지 사용 의무 비율을 강제하는 제도
- 3) International Energy Agency, 국제 에너지 기구

## □ 재생에너지 확산에 따라 유연성 자원 확보와 송전망 접속 지연 문제가 해결 과제로 부상

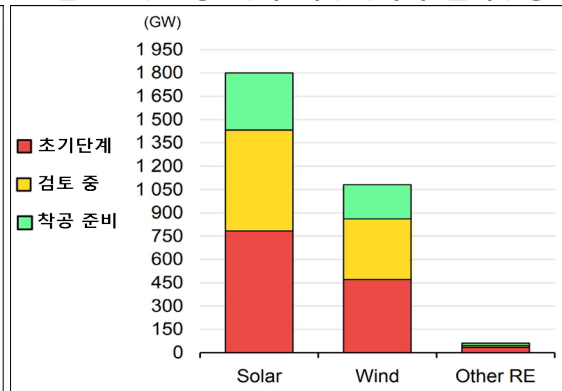
- 날씨 등 외부 환경에 따라 출력이 급변하는 재생에너지는 변동성이 커 이를 보완하기 위한 유연성 자원의 중요성이 증가하고 있음
  - 재생에너지 출력은 전력수요와 시계열이 일치하지 않아, 수요보다 발전량이 많은 시간대엔 출력 제한<sup>4)</sup>이 발생하는 등 운영상의 제약이 발생
  - ESS<sup>5)</sup>·부하추종 발전원<sup>6)</sup>·수요반응(DR)<sup>7)</sup> 등의 유연성 자원은 전력의 출력과 수요를 조절해 전력계통 안정성 확보에 필수적인 역할을 수행
- 재생에너지의 입지 제약과 송전망 구축 지연으로 인해 송전망 용량이 부족한 상황으로, 재생에너지 발전설비가 송전망에 접속하지 못하는 상황이 발생 중
  - 재생에너지는 일사량·풍속 등 자연조건에 따라 입지가 제한되어, 수요지와 먼 거리에 집중되는 경우가 많아 송전망 용량 부족을 유발
  - 송전망 확충은 인허가, 주민 협의 등으로 인해 5~10년 이상의 장기간이 소요
  - '24년 기준 약 1,650GW 규모의 재생에너지가 송전망 접속이 지연 중<sup>8)</sup>

〈그림 2〉 재생에너지 출력의 변동성



자료 : MGA Thermal('25.7.14), "The Duck Curve"

〈그림 3〉 송전망 대기 재생에너지 설비용량



자료 : IEA(2024), "Renewables 2024" 당행 재정리

4) 출력 제한(Curtailment) : 전력계통의 안정성 확보를 위해 발전소 가동을 제한당하는 현상

5) ESS(Energy Storage System, 에너지저장장치) : 잉여 전력을 저장했다가 필요할 때 방전하는 장치

6) 전력수요 변동에 맞춰 출력을 빠르게 조절할 수 있는 발전원으로 석탄, LNG 복합화력, SMR 등

7) 전력수요 측에서 시간대별로 소비량을 줄이거나 이동시켜 시간대별 전력수요를 조절하는 방식

8) IEA(2024), "Renewables 2024"

**□ 기존의 유연성 자원 활용은 구조적 제약으로 인해 재생에너지 중심의 전력공급 전환을 충분히 지원하기 어려움**

- ESS는 발전설비가 아닌 저장장치로, 충전 주기의 한계로 인해 재생에너지의 장기 변동성 대응에는 구조적인 제약이 존재
  - ESS는 방전 이후 충전이 필요하며, 충전이 어려운 환경이 장시간 지속되면 전력 공급 기능을 상실
  - 현재 상용화된 ESS 대부분이 4~6시간의 단기 변동성 대응을 목적으로 설계
- 석탄, LNG 복합화력 등 화석연료 기반 부하추종 발전원은 출력 조정 능력은 우수하나, 탄소중립과는 양립이 어려움
  - 석탄, LNG 복합화력 등은 기동과 정지 과정에서 온실가스를 배출하며, 화석 연료의 특성상 발전 과정에서도 탄소를 배출
- 수요반응(DR)은 데이터센터, 전기차 급속 충전 등 고정적 부하의 등장으로 인해 효과가 점차 저하될 가능성이 존재
  - 데이터센터는 통상 24시간 가동이 요구되며, 전기차 급속 충전도 단시간에 충전이 이루어져 전력수요를 시간대에 따라 조절하는 것이 어려움

**□ 송전망 확충 역시 사회적 수용성 등의 제약으로 근본적 해결책이 되지 못하며, 입지 분산형 공급 전략이 병행되어야 함**

- 송전망 확충은 사회적 수용성의 제약으로 인해 구조적으로 장기간이 소요되며, 재생에너지 확산 속도를 따라가기 어려움
  - 송전망 건설은 기술적 제약보다는 인허가 절차, 주민 반발, 환경 훼손 등이 핵심 제약 요인으로 작용해 단기간 내 해소가 어려움
- 송전망 확충만으로는 발전소가 특정 지역에 집중되는 문제를 해결할 수 없어, 병목을 반복적으로 유발할 가능성이 높음
  - 수요지 인근의 분산형 전원 확보와 발전소의 입지 분산이 병행되지 않으면 송전망 병목의 근본적 해결이 불가능함

## II. SMR(Small Modular Reactor)의 전략적 가치

### □ SMR은 소형·모듈형 설계를 기반으로 다양한 입지에 활용이 가능하며, 기존 대형 원전 대비 안정성을 높인 차세대 원자력 발전

- SMR은 공장에서 표준화된 모듈 제작 후, 현장에서 조립되는 방식으로 기존 대형 원전 대비 설치 기간이 단축되며 다양한 입지에 구축이 가능
  - SMR은 모듈화로 다수의 모듈을 동시·일괄 설치하는 것이 가능해, 대형 원전 대비 시공 작업을 감소시켜 설치 기간 단축이 가능함
  - 대형 원전 대비 절반 이하의 부지에 건설이 가능하며, 안전성 확대로 주변 대피구역을 최소화하여 기존의 석탄, LNG 복합화력 부지에도 건설 가능
- SMR은 안전 계통이 단순화 및 소형화되어 기존 대형 원전 대비 안전성과 규제 수용성 측면에서도 경쟁력을 확보
  - 피동형 안전계통(Passive Safety)<sup>9)</sup> 적용으로 자연 냉각이 가능하며, 단순화 및 일체형 설계로 배관 파단 사고 등의 가능성을 제거하여 높은 안전성 확보
  - 미국 NRC<sup>10)</sup>는 SMR의 사고 확률이 기존 원전 대비 10분의 1 수준이라고 평가

〈표 1〉 기존 대형 원전과 SMR 비교

| 항목      | 기존 대형 원전                               | SMR(소형모듈원전)                                                |
|---------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 안전성     | 체르노빌, 후쿠시마 등 대형사고 발생 이력이 있음.           | 단순화·일체형 설계, 피동형 안전계통 선택으로 사고 발생 위험을 낮춤.                    |
| 운영 탄력성  | 대용량 출력이 고정됨. (기저부하)                    | Scalable & 부하추종운전이 가능함.<br>(분산전원 및 신재생에너지의 백업 전원으로 활용 가능성) |
| 건설 Risk | 현장 건설 작업의 비중이 높음<br>(건설 Risk ↑)        | 공장에서 표준화된 모듈 생산 후<br>현장에선 단순 조립 (건설 Risk ↓)                |
| 부지 면적   | 573m <sup>2</sup> /MWe<br>(APR1400 기준) | 대형원전 대비 단위 출력 당 필요<br>부지면적 1/2                             |

자료 : 에너지경제연구원(2021), "세계원전시장 인사이트\_2021.10" 자료 당행 재정리

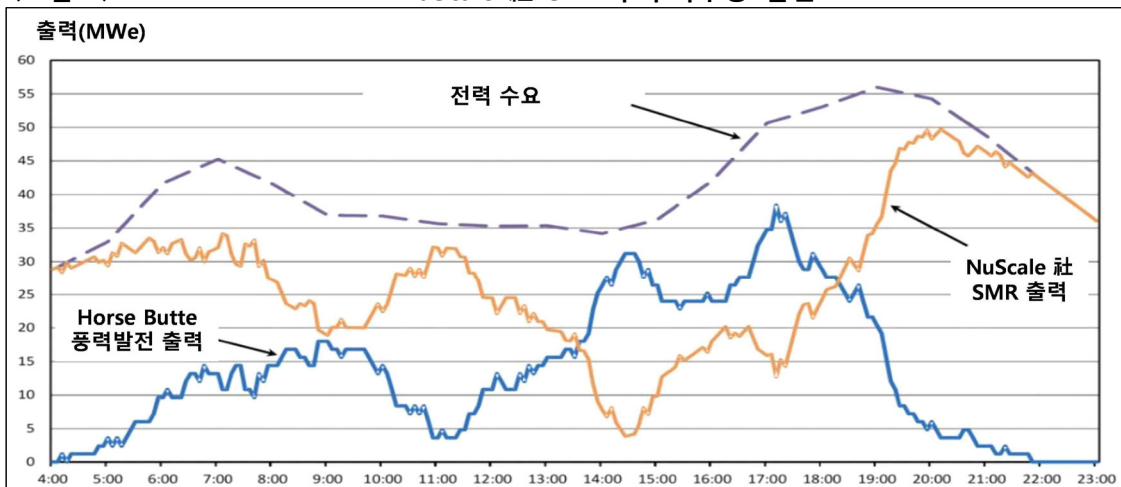
9) 전기 등 외부 동력 없이 중력, 자연대류 등 자연 원리를 활용하는 방식으로 사고 시 외부 동력 없이도 작동하기에 안정성과 신뢰도가 높음

10) U.S. Nuclear Regulatory Commission, 미국 원자력규제위원회

□ SMR은 무탄소 부하추종 전원으로서, 재생에너지 확산과정에서 전력계통 유연성 확보에 기여할 수 있는 전략적 자원

- SMR은 열관성<sup>11)</sup>이 낮고 반응 계통이 단순해, 출력조절 시 반응속도가 빨라 부하추종 운전이 가능
  - SMR의 소형 노심은 출력조절 시 축적, 방출되는 열량이 적어 응답시간이 짧으며, 단순화 및 일체형 설계로 인해 제어 정밀도가 높음
  - SMR 주요 제작사 중 하나인 NuScale社は 5분 단위의 출력 증감 운전을 통해 풍력 발전의 출력 변동성을 보완하는 실증 실험에 성공

〈그림 4〉 NuScale社 SMR의 부하추종 발전



자료 : D.T. Ingersoll 등(2015), "Can Nuclear Power and Renewables be Friends?" 자료 당행 재작성

- SMR은 핵분열 기반 무탄소 발전으로, 발전 과정에서 온실가스를 배출하지 않아 탈탄소 목표와 양립이 가능
  - SMR은 석탄, LNG 복합화력 등 기존 화석연료 기반 유연성 전원 대체 가능
  - 미국 DOE<sup>12)</sup>는 '35년까지 전체 유연성 자원의 15~20%를 SMR이 대체할 수 있을 것으로 분석

11) 열관성(Thermal Inertia) : 온도 변화에 대한 저항성으로 열이 가해졌을 때 시스템이 얼마나 빠르게 반응하는지를 결정하는 물리적 성질, 일반적으로 열관성이 높을수록 온도 변화에 둔감하여 반응이 느리고 열관성이 낮을수록 출력조절 시 빠르게 반응할 수 있음

12) U.S. Department of Energy, 미국 에너지부

□ SMR은 입지 분산이 가능하여 재생에너지의 입지 제약 문제를 보완할 수 있음

- SMR은 소형 모듈형 구조와 단순한 입지 요건을 바탕으로 수요지 인근이나 기존 발전소 부지에 설치가 가능
  - 공장에서 모듈 단위 제작 후 현장에서 조립되는 방식은 입지 선택을 자유롭게 하며, 기존 발전소의 부지 및 인프라 재활용을 가능하게 함
  - 미국 TVA<sup>13)</sup>는 폐지된 석탄 화력발전 부지에 SMR을 설치해 송전망 확충 부담을 최소화하는 방안을 검토 중
- SMR의 분산 입지 특성은 송전 인프라 확충 부담을 줄여, 재생에너지 중심의 전력공급 전환에 필요한 유연성과 안정성을 보완
  - SMR은 수요지 인근에서 직접 전력공급이 가능해 송전망 부담을 분산시켜, 재생에너지의 집중 입지로 인한 송전망 병목 문제를 간접적으로 완화
  - 일사량·풍속 등 자연조건이 열악하거나 송전망 접근성이 낮아 재생에너지 보급이 힘든 지역에 SMR을 보완 전원으로 활용 가능

□ SMR은 산업용 열 생산 등 재생에너지만으로는 대응하기 힘든 부분을 보완하는 복합 에너지원으로도 활용이 가능

- 재생에너지는 고온 열원 생산이 불가능해, 정유·화학·제철 등 고온 열 수요 대응에 한계가 존재
  - 집광형 태양광<sup>14)</sup>, 지열 발전 등은 열 생산이 가능하나, 산업용 고온열에 요구되는 500~1000℃ 대응에는 한계가 존재
  - 전기를 다시 열로 변환하면 에너지 효율이 감소하며 추가 비용이 발생
- 500℃ 이상의 열원 공급이 가능한 고온가스로형 SMR<sup>15)</sup> 등은 전기·열을 동시에 공급하여 지역난방 등에서 발생하는 복합 에너지 수요에 대응할 수 있음
  - 캐나다, 핀란드 등은 열병합 운전 방식의 SMR 실증사업을 추진 중

13) Tennessee Vally Authority, 미국 에너지부 산하의 테네시주 연방 공기업

14) 거울이나 렌즈로 태양광을 한점에 집중시켜 열을 발생시키고, 이 열로 전기를 생산하는 방식

15) 고온가스로형 SMR(HTGR, High-temperature Gas-cooled Reactor) : 헬륨가스를 냉각재로 사용하는 고온형 SMR로 운전온도가 약 700~950℃수준으로 산업 공정열 등의 열공급에 적합

## 〈참고 1〉

## 노형별 SMR 개발 동향

□ SMR은 기존의 3세대 경수로형 원자로와 함께, 다양한 냉각재를 활용하는 4세대 원자로 기술을 기반으로 고온 열원 제공 등 다양한 목적에 강점을 보유

- 냉각재로 물을 사용하는 경수로형 SMR은 기존 대형 원전을 소형화한 구조로 상용화가 가장 앞서 있으며, 전력 생산 중심의 모델로 개발 중
- 4세대 원자로는 헬륨, 액체나트륨, 용융염 등의 냉각재를 사용해 고온 열원 제공 등 3세대 원자로 대비 다양한 목적에 활용 가능
  - 고온가스로형(HTGR): 헬륨을 냉각재로 사용해 900℃ 내외의 고온 열원을 제공하여 산업용 고온열 공급에 적합
  - 나트륨냉각고속로(SFR, Sodium-cooled Fast Reactor): 높은 열 전도성과 낮은 증기압을 가진 액체 나트륨을 냉각재로 사용해 출력조절 유연성이 우수하며 고온 열 제공도 가능
  - 용융염로(MSR, Molten Salt Reactor): 핵연료와 냉각재가 혼합된 액상 용융염 상태로 운전되며, 연료 활용 효율이 높고 고온 열원 제공이 가능해 복합 에너지 공급이 가능

노형 종류에 따른 SMR 개발 사례

| 노형 종류              | 냉각재                              | 대표 노형                          | 활용계획 및 특징                                  |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| 경수로형<br>(3, 3+ 세대) | 물                                | VOYGR<br>(NuScale 社)           | 전력공급 중심, 상용화가 가장<br>앞서 있는 SMR 노형           |
|                    |                                  | i-SMR<br>(한국수력원자력)             |                                            |
|                    |                                  | SMART<br>(한국원자력연구원)            |                                            |
| 고온<br>가스로형         | 헬륨                               | Xe-100<br>(X-Energy 社)         | 고온 열원 제공을 통한 원격지<br>열 공급, 수소 생산 등에 활용      |
| 나트륨<br>냉각고속로       | 액체나트륨                            | Natrium<br>(TerraPower 社)      | ESS 기능을 통한 계통 유연성<br>확보 전원으로 활용            |
| 용융염로               | 용융염<br>(LiF-BeF <sub>2</sub> 등 ) | IMSR<br>(Terrestrial Energy 社) | 복합 에너지(산업용 고온열,<br>해수담수화, 수소생산 등)<br>공급 목적 |
|                    |                                  | CMSR<br>(Seaborg 社)            |                                            |

자료 : IAEA 자료 참조하여 당행 재정리

### Ⅲ. SMR의 다목적 전략 활용 사례

#### □ SMR을 통해 재생에너지 전환과정에서 발생하는 기저 전원 공백을 보완하려는 실증사업들이 진행 중

- 기존에는 석탄 화력발전이 24시간 전력공급을 담당하는 기저 전원의 한 축으로 활용되었으나, 탄소중립을 위해 퇴출이 진행 중
- 재생에너지 중심의 전력공급 구조로 성공적으로 전환하기 위해서는 새로운 무탄소 기저 전원이 필요
  - 재생에너지는 발전 여부(與否)가 일사량·풍속 등 외부 환경의 영향을 받아 24시간 연속 운전이 힘들어 기저 전원으로 활용하기에는 한계가 존재
  - 일부 국가는 재생에너지 확대에도 불구하고, 석탄 화력발전을 여전히 기저 대응 수단으로 활용
- 미국과 루마니아는 기존의 석탄 화력발전 부지를 활용한 SMR 실증을 통해, 무탄소 방식으로의 기저 전원 대체를 추진
  - 루마니아는 Doicesti 석탄 화력발전 부지에 NuScale 社의 SMR을 배치하는 실증사업을 추진
  - 미국은 Wyoming州의 석탄 화력발전 부지에 Terra Power 社의 345MW급 Natrium 배치를 추진

#### □ 재생에너지의 변동성 대응을 위해 SMR을 유연성 자원으로 활용하는 방안이 실증되고 있음

- 캐나다는 Darlington 부지에 SMR을 설치하여 부하추종 운전 능력과 전력계통 유연성 확보 기능을 평가하기 위한 실증사업을 진행
  - OPG<sup>16)</sup>는 Darlington 부지에 GE Hitachi 社의 BWRX-300 SMR를 배치하는 실증사업을 '25년 착공했으며, '28년 준공을 목표 중

16) Ontario Power Generation, 캐나다 온타리오州의 원자력 발전 공기업

- 미국 DOE와 TerraPower社は SMR에 열에너지 저장시스템을 결합하여 ESS 기능을 수행할 수 있는 하이브리드 SMR을 개발 중
  - TerraPower社の Natrium은 기본 출력 345MW에 열 저장 탱크를 결합하여, 저장된 열을 활용해 최대 500MW까지 출력 증강이 가능
  - Natrium은 전기화학적 반응을 대신 열 버퍼를 사용하는 구조<sup>17)</sup>로 배터리 형식의 기존 ESS에 비해 수명 저하가 적어 안정적인 장기 운용이 가능
  - 미국 DOE는 ESS 대비 높은 장기 안정성에 주목하며, 실증사업 추진에 최대 20억 달러 규모의 예산을 지원

〈그림 5〉 Darlington 부지



자료 : OPG(2025)

〈그림 6〉 Natrium 열 저장 모식도



자료 : TerraPower社 자료 참조하여 당행 재작성

## □ 전기 외의 에너지 수요 대응을 위해 SMR을 산업용 고온열 공급, 수소 생산, 지역난방용 열병합 등을 위한 전원으로 활용하는 실증사업을 추진 중

- 일본은 전력 생산을 넘어, 고온 열원 활용을 통한 수소 생산 및 산업용 고온열 공급을 목표로 실증사업을 추진
  - JAEA<sup>18)</sup>는 오아라이 연구소 내에 건설된 고온가스로형 SMR 실증로를 통해 950℃ 고온 운전에 성공하며, 고온 열원의 안정성과 제어 가능성 실증에 성공
  - JAEA는 고온 운전 실증 경험을 기반으로 수소 생산 및 산업용 고온열 공급, 지역난방 등 SMR의 전력 외의 활용 가능성에 대해 테스트를 수행 중

17) 원자로에서 생산한 열을 액체 나트륨에 일시 저장한 뒤, 저장된 열을 활용해 다시 발전하는 방식

18) Japan Atomic Energy Agency, 일본의 국가 원자력 연구기관

- 캐나다와 핀란드는 SMR을 도심 및 산업단지에 전기와 열을 동시에 공급하는 열병합 전원으로 실증하고 있음
  - 캐나다의 GFP<sup>19)</sup>는 Chalk River 부지에서 전력과 열을 동시에 공급할 수 있는 원격지형 열병합 전원 확보를 목표로 USNC<sup>20)</sup> 社の MMR<sup>21)</sup> 실증사업을 추진 중
  - 핀란드의 VTT<sup>22)</sup>는 도심 인근에 설치가 가능한 지역난방 전용 SMR LDR-50의 실증사업을 통해, 열병합 전원으로 SMR을 활용하는 것을 목표 중

**□ 재생에너지 공급이 어려운 지역에 사각지대를 보완하기 위해, SMR을 자립형 전원으로 활용하는 방안이 추진되고 있음**

- 러시아는 극지형 기후로 도로·철도 접근이 어려운 북동부 페벡(Pevek) 지역에 선박형 SMR을 통해 전력과 열을 공급 중
  - 선박형 SMR Akademik Lomonosov는 35MW급 부유식 SMR KLT-40S 2기로 구성되어, '19년부터 항만 인근에 전력과 열 공급을 단독 수행 중
  - 러시아는 차세대 부유식 SMR을 개발하여, 야말·북극 항로 지역 인근 LNG 기지와 군사 거점 등에 자립형 전원으로 활용하는 것을 목표 중
- 미국은 알래스카 군사기지, 극지 연구소 등 디젤 의존이 심한 지역에 SMR을 자립형 전원으로 활용하기 위해 10MW 이하의 마이크로 SMR을 개발 중
  - 미국 에너지부(DOE)와 국방부(DOD<sup>23)</sup>)는 “Project Pele”를 통해 육군 기지 내 고온가스로 기반 이동형 마이크로 SMR 실증사업을 진행 중
    - 화물차나 비행기로 운송이 가능한 수준의 고온가스로 계열 1~5MW급 초소형 SMR 개발 진행 중

19) Global First Power, 캐나다의 OPG와 미국의 USNC, 캐나다 정부가 공동 설립한 합작법인

20) Ultra Safe Nuclear Corporation, 고체 세라믹 연료와 초소형 모듈 원자로를 개발하는 미국의 차세대 원자로 개발 기업

21) Micro Modular Reactor, 일반적으로 초소형 모듈 원자로 노형을 지칭하나 본 고에서는 USNC 社가 개발한 고체 세라믹 원료를 사용하는 초소형 모듈 원자로 노형을 지칭

22) Technical Research Centre of Finland, 원자력·재생·에너지 등 다양한 첨단 에너지 기술의 R&D와 실증을 주도 중인 핀란드의 국책 기술 연구기관

23) Department of Defense

<참고 2>

국내 SMR 활용 전략

□ 한국은 기저 전원 대체, 산업용 고온열 공급, 자립형 전원, 수출형 기술 확보 등을 목적으로 SMR 실증을 추진 중

- 석탄 화력발전 등 기저부하 전원의 저탄소 대체 수단으로 SMR을 검증 중
  - 제11차 전력수급기본계획에서 SMR 0.7GW를 신규 전원으로 반영
  - 고리·한울 등 기존 원전 부지에 SMR 배치를 검토 중이며, 혁신형 SMR 실증 설계도 추진 중
- 한국원자력연구원, 산자부 등을 중심으로 SMR을 열 공급 수단으로 활용하는 방안이 추진
  - 한국원자력연구원은 전기 생산보다 스팀 및 고온열 공급을 주목적으로 하는 고온가스로형 SMR 개발을 진행 중이며, 현재 개념설계 완료 단계
  - 산업부 등은 고온열 수요가 큰 제철·화학 산업 등을 대상으로 SMR 기반 열 공급 수요 조사 및 경제성 분석 실시
- 도시지역, 군사시설 등 전력망 접근이 힘든 지역에 자립형 전원으로 SMR을 활용하기 위한 실증도 기획 중
  - 한국원자력연구원이 개발 중인 고온가스로형 SMR은 자립형 열병합 전원으로 활용 가능
  - 국방부, 원자력연구원 등은 군사시설에 고온가스로형 SMR을 자립형 열병합 전원으로 활용하는 실증사업을 기획
- 전략적 활용 목적 외에도 SMR 수출 기술 확보를 위해 SMR 제조 역량 확보, 독자 모델 설계 등도 병행 진행
  - 두산에너지빌리티社は NuScale 社の SMR 제조 파트너로서 주요 부품 제작 및 납품과 함께 기자재 국산화 실증도 병행
  - 과기정통부는 기본설계를 완료한 국내 독자 SMR 모델 SMART의 해외 실증 협의와 함께, “혁신형 SMR(i-SMR)” 설계 개발을 추진
    - SMART는 기본설계 완료 후 설계 인증 획득, 실증로 건설은 미진행
    - 혁신형 SMR(i-SMR)은 ‘30년 상용화를 목표로 상세설계 진행 중

## IV. 결론 및 시사점

- **재생에너지의 확산은 기술적·경제적 제약보다는 송전망 병목에 의해 좌우될 전망으로, SMR을 통해 이를 전략적으로 보완해야 함**
  - 재생에너지의 보급 속도는 기술적·경제적 제약이 아닌 전력계통 수용성에 따라 결정될 가능성이 높음
    - IEA에 따르면, '24년 기준 태양광<sup>24)</sup> 및 육상 풍력 발전은 대다수의 지역에서 가장 저렴한 발전원으로 평가<sup>25)</sup>받아 재생에너지의 기술적·경제적 제약은 이미 상당 부분 해소된 상황
    - IRENA<sup>26)</sup>는 재생에너지 확산의 주요 병목 요인은 출력 제한, 송전망 접속 지연 등 전력계통의 수용성 부족이라고 분석
  - 재생에너지는 자연조건에 따라 입지가 결정되기 때문에 보급이 진행될수록 특정 지역에 대한 송전망 수요는 증가하며 송전망 병목은 고착화되는 구조
    - 일사량·풍속 등 자연조건이 우수한 최적의 입지는 한정되어 있어 재생에너지의 입지 집중은 필연적인 현상으로, 이는 구조적인 송전망 병목을 유발
    - 송전망 확충은 재생에너지 확산을 위해 필수적이나, 재생에너지의 입지 집중을 본질적으로 해소하진 못함
  - SMR은 수요지 인근에 독립 설치가 가능하여, 재생에너지 확산에 따른 송전망 확충 부담을 간접적으로 완화
    - 대형 원전, 석탄 화력발전 등 기존의 전원은 모두 전력계통 연계가 필요해, 송전망 확충 부담을 가중시킴
    - SMR은 최소한의 전력계통 연계만으로도 운전이 가능하여, 송전망 확충 부담을 완화하는 분산형 자원으로 활용할 수 있음

24) 집광형 태양광을 제외한 Utility Scale 태양광 기준

25) 발전원의 경제성은 발전설비의 건설·운영·연료·폐기 등 생애주기 총비용을 단위 발전량(MWh)으로 환산한 수치인 LCOE(Levelized Cost of Energy)를 통해 비교하며 LCOE가 낮을수록 경제적인 발전원으로 평가함, IEA에 따르면 Utility Scale 태양광 및 육상 풍력 발전의 LCOE가 대다수의 지역에서 가장 낮은 것으로 평가

26) International Renewable Energy Agency, 국제 재생에너지 기구

□ 탄소중립 시대의 전원 구성은 기능에 따른 역할 분담으로 설계되어야 하며, SMR을 통해 재생에너지의 기능적 공백을 보완하는 것이 필요

- 기존의 전원 구성은 발전원 간 상대적인 비중 조정에 초점을 맞췄으나, 탄소중립 이행기에는 전원별 기능의 조합이 중요함
  - 재생에너지는 간헐성과 변동성으로 인해 전력수요와의 실시간 정합이 어려워, 전력계통의 안정성과 예측 가능성을 별도로 보완할 필요가 존재
  - 탄소중립 이행에 따라 화석연료 기반 전원의 단계적 퇴출이 요구됨에 따라, 화석연료 기반 전원이 맡아왔던 기저·유연성 전원 기능의 공백이 발생
- 재생에너지 보급 확대 과정에서 유연성 자원 및 기저 전원의 역할을 충족할 수 있는 전원은 제한적
  - 재생에너지의 대부분을 차지하는 태양광·풍력 발전은 간헐성과 변동성으로 인해 기저 전원이거나 유연성 자원의 역할을 수행하기 어려움
  - ESS는 방전시간의 한계로 장시간 대응에 한계가 존재하며, 수요 반응(DR)은 전력수요 구조의 변화로 효용이 감소, 석탄 및 LNG 복합화력 발전은 탄소를 배출하는 구조적인 제약이 존재
- SMR은 기존 유연성 자원의 한계를 보완할 수 있으며, 화석연료 기반 전원이 담당하던 기저 전원 역할을 대체할 수 있는 무탄소 전원
  - SMR은 안정적인 전력공급이 가능한 무탄소 부하추종 전원으로, 열 버퍼 등을 활용해 ESS 용도로 확장도 가능

□ 전력 중심의 재생에너지 탈탄소화가 가진 구조적 한계 보완을 위해, SMR을 복합 에너지 부문의 전환 수단으로 전략화하는 것이 필요

- 재생에너지는 전력 중심의 기술로, 고온 열원 제공 등 전력 외 부문에 대응하기 어려운 구조적 한계가 존재
  - 재생에너지가 생산한 전력을 열로 전환하는 것은 가능하나, 에너지 효율이 감소하며 정유·화학·제철 등 고온 열원 제공을 요구하는 수요에는 적합하지 않음

- 재생에너지 전환의 궁극적 목적은 탄소중립 목표 달성으로, 탄소중립 목표 달성을 위해선 전력 外 부문에 대응하기 위한 수단이 필요
  - IEA에 따르면, 탄소중립 목표 달성을 위해선 에너지 전환의 약 80%는 전력 外 부문에서 이루어져야 함
- SMR은 다양한 수요에 대응할 수 있는 분산형 자원으로, 재생에너지로 전환하는 과정에서 발생하는 전력 外 부문에 대한 수요를 흡수할 수 있음
  - 차세대 SMR 중 일부는 해수 담수화, 폐열 활용, 산업 플랜트 열 공급 등 전력 外 부문 중심의 응용을 목적으로 설계가 진행 중

**□ 재생에너지와 SMR은 양립 불가능한 전원이 아니라, 기능과 역할이 다른 상호 보완적 전원으로 함께 추진되어야 함**

- “탈원전 vs 재생에너지”라는 이분법적 구도는 현실과 괴리되며, 정책적 의사 결정을 왜곡시킬 수 있음
  - SMR은 기존의 대형 원전과 달리 출력조절 능력과 입지 유연성이 우수해, 재생에너지와 충돌 요인이 없음
  - 전력공급 안정성 확보와 탄소중립 목표달성을 위해 전원 간의 상호 보완 가능성을 고려한 전원 구성이 필요
- 재생에너지는 변동성 및 입지 제약 등의 한계를 가지며, SMR은 출력 안정성과 입지 분산 가능성을 기반으로 이를 보완할 수 있음
- 주요 기관은 SMR을 재생에너지 전환을 지원하기 위한 전략적 전원으로 평가
  - IEA는 SMR을 부하추종이 가능한 무탄소 전원으로 정의하며, 태양광·풍력 발전의 변동성을 실시간으로 보완하는 전략적 자원으로 제시
  - OECD-NEA<sup>27)</sup>는 COP26<sup>28)</sup> 브리핑에서 SMR은 재생에너지와의 통합 및 계통 유연성 확보에 유리한 특성을 가지며, 병행 추진이 필요하다고 제안

27) Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency, 경제협력개발기구 원자력기구 :원자력의 안정성, 경제성, 환경성 확보를 위한 정책 연구 및 국제 협력 기관

28) 제26차 유엔기후변화회의, 세계 각국이 참가하는 기후 정상회담

## 참고문헌

### [국문자료]

에너지경제연구원(2021), “세계시장 원전 인사이트”

산업통상자원부(2025), “제 11차 전력수급기본계획”

### [영문자료]

International Energy Agency(IEA)(2023), “Electricity Grids and Secure Energy Transitions”

\_\_\_\_\_(2024), “Electricity 2024”

\_\_\_\_\_(2024), “Renewables 2024”

\_\_\_\_\_(2025), “The Path to a New Era for Nuclear Energy”

\_\_\_\_\_(2025), “Electricity 2025”

International Renewable Energy Agency(IRENA)(2024), “World Energy Transitions Outlook 2024”

MGA Thermal(2024), “The Duck Curve”, <http://www.mgathermal.com/duck-curve>  
(접근 : 2025.7.14.)

D.T. Ingersoll et(2015), “Can Nuclear Power and Renewables be Friends?”

Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency(OECD-NEA)(2023), “The Role of SMRs in Flexible Energy Systems”

\_\_\_\_\_(2022), “Advanced Nuclear Fuel Cycles and Radioactive Waste Management”

World Nuclear Association(WNA)(2023), “Small Modular Reactors”

\_\_\_\_\_(2024), “Floating Nuclear Power Plants and SMRs”

International Atomic Energy Agency (2023), “Small Modular Reactors”

\_\_\_\_\_(2024), “ARIS: Advanced Reactors Information System”

Japan Atomic Energy Agency(JAEA)(2023), “HTTR Demonstration Program and High-Temperature Heat Use Strategy”

U.S. Department of Defense(DOD)(2024), “Project Pele Overview and Microreactor Strategy”

U.S. Department of Energy(DOE)(2023), “Pathways to Commercial Lift Off : Advanced Nuclear”

U.S. Nuclear Regulatory Commission(NRC)(2020), “NuScale Safety Evaluation Report”

Global First Power(2023), “MMR Project in Chalk River - Project Overview”

Ultra Safe Nuclear Corporation(USNC)(2024), “MMR Technology White Paper”

VTT Technical Research Centre of Finland(2023), “LDR-50 Demonstration Project

NuScale, <http://www.nuscalepower.com>

TerraPower, <http://www.terrapower.com>