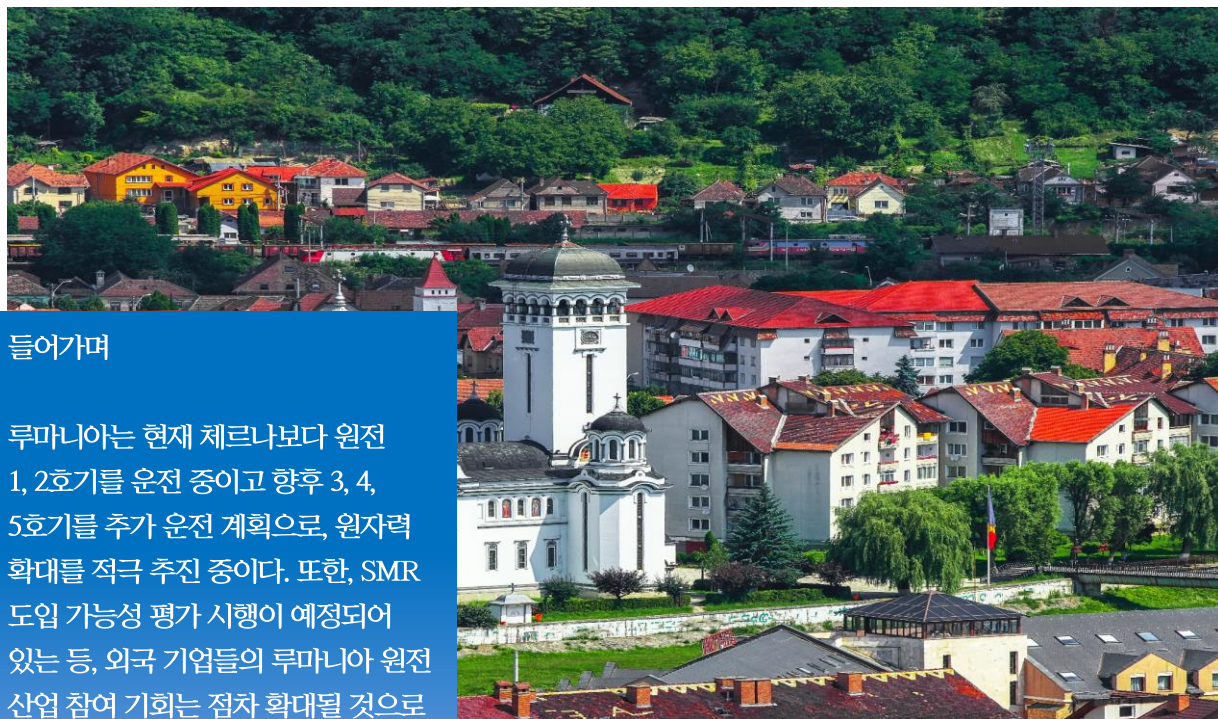


해외 전문가 칼럼 | 2024년 2월

루마니아 원전 프로젝트의 현황 및 전망



들어가며

루마니아는 현재 체르나보다 원전 1, 2호기를 운전 중이고 향후 3, 4, 5호기를 추가 운전 계획으로, 원자력 확대를 적극 추진 중이다. 또한, SMR 도입 가능성 평가 시행이 예정되어 있는 등, 외국 기업들의 루마니아 원전 산업 참여 기회는 점차 확대될 것으로 예측된다.

루마니아의 에너지 전략

루마니아는 다양한 에너지 자원을 기반으로 균형 잡히고 다각화된 에너지 믹스를 구축하고 있으며, 역내에서 에너지 안보 공급자로 발돋움하려는 강한 의지를 갖고 있는 국가이다.

루마니아 에너지 전략(Energy Strategy) 비전은 온실가스 배출 저감, 에너지 부문의 재생에너지, 에너지 효율을 중점적으로 다룬 '2030 유럽인을 위한 청정에너지 패키지(Clean Energy for all Europeans 2030)'에 제시되어 있는데, 이는 루마니아의 '2050 유럽기후협정

(European Climate Pact)' 관점에서의 지속가능성 및 경제 성장에 중점을 두고 에너지 부문을 발전시키는 것을 목적으로 한다.

루마니아의 원자로 운전 및 연료주기 현황

루마니아의 원자력 에너지 생산은 1977년 공산 정권에서 시작됐다. 당시 루마니아가 채택한 에너지 생산 전략은 자체 발전 능력을 확보함으로써 에너지 부문에서 소련의 영향력으로부터 자유로워지는 것을 목표로 삼았다. 이에, 루마니아 공산당은 체르나보다(Cernavoda) 지역에 다뉴브 강을 따라 원자로 5기를

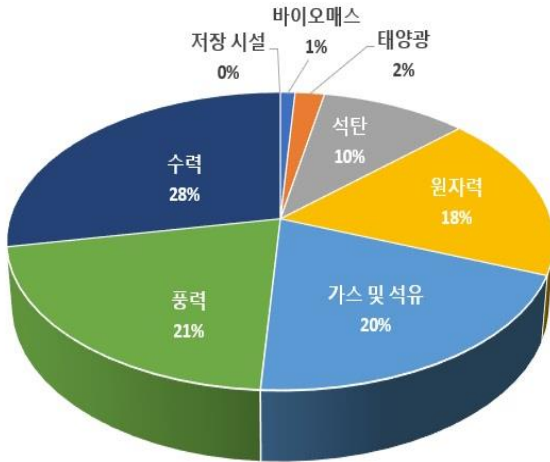
Roxana-Mihaela
Nistor-Vlad

· (전) 2014~2016 루마니아 원전
엔지니어링 업체 CITON 근무 (엔지니어)
· (현) 에너지학박사
· (현) Politehnica University of Bucharest -
Lecturer (조교수)

건설하는 계획을 공표했고, 캐나다의 기술이 선정됐다. 또한 체르나보다 원전은 캐나다, 이탈리아, 미국으로부터의 기술 이전을 기반으로 개발되었다.

- Cernavoda Nuclear Power Plant : 체르나보다 원전 운영 및 부가 서비스 제공
- Nuclear Fuel Factory(FCN): 루마니아의 CANDU 6 핵연료 공인 생산업체

[그림 1] 루마니아의 에너지 믹스



출처: Transelectrica¹⁾

루마니아는 원자력 에너지 분야 발전을 위해 현재 시행 중인 프로젝트 뿐만 아니라, 향후에도 다양한 프로젝트 시행을 계획하고 있다. 루마니아에서 가장 많은 원자력 활동을 관리하는 기업은 1998년 설립된 루마니아 원자력공사(SNN)다. 루마니아 에너지부 산하의 SNN社は 루마니아 정부가 지분 82.5%를, 루마니아 투자기금 Fondul Proprietatea가 9.1%를, 기타 주주들이 8.4%를 각각 보유하고 있다.

SNN社の 주요 활동 분야는 전력, 열, 핵연료의 생산이며, 에너지 투자 및 개발 분야 간 조율, 산업 현장에서의 인력 교육 및 개선 작업을 담당한다. SNN社は 다음과 같이 자회사 2곳을 운영하고 있다.

[그림 2] 루마니아 체르나보다 원전 위치



체르나보다 원전 1호기는 1996년 12월 2일, 2호기는 2007년 11월 1일 상업운전에 들어갔다. 현재는 CANDU 노형이 적용된 동 원자로 2기만 운전 중에 있으며, 루마니아 전체 에너지 발전량 중 18~19%가 이곳에서 생산된다. 1호기와 2호기는 각 700MWe 전력을 생산하며 전력 생산 외에도 체르나보다 지역에 지역 난방을 공급하고 있다.

SNN社 산하의 Nuclear Fuel Factory(FCN)社は 루마니아에서 현재 운전 중인 원자로에 핵연료다발을 공급하고 있다. FCN은 1994년 캐나다 원자력 공사(AECL) 및 캐나다 Zircotec Precision Industries社로부터 CANDU 6 핵연료 생산업체로서의 운영을 허가받았다.

1) <https://www.transelectrica.ro/web/tel/sistemul-energetic-national>

2004~2006년 FCN은 체르나보다 원전 2기 운전을 위해 필요한 연료를 확보하기 위해 투자를 유치, 생산능력을 2배 증대시켰다. FCN은 매년 체르나보다 원전에 공급하기 위해 10,800개의 핵연료다발을 생산한다. FCN은 핵연료 제조 기술 이전에 관심을 갖고 있는 기업을 대상으로 컨설팅, 기술 지원, 장비 등을 제공한다. 또한 FCN는 향후 프로젝트, “소형모듈원전(SMR)과 납냉각고속로(LFR)를 위한 연료 제조”에 대한 니즈를 만족시키기 위해 생산능력을 확대할 계획이다.

루마니아 원자력 에너지 확대를 위한 활동들

루마니아 정부는 현재 체르나보다 3, 4호기 건설 사업 및 체르나보다 1호기 설비개선 사업을 지원하고 있다. SNN社は 현재 약 90억 유로 규모의 원자력발전소 투자 프로젝트를 진행하고 있으며, 여기에는 체르나보다 3, 4호기 건설 및 체르나보다 1호기 설비개선과 SMR 개발 등이 포함되는 것으로 알려졌다. SNN社は 2050년까지 탈탄소화 목표 달성의 일환으로 체르나보다 1호기 설비개선 작업을 시행할 계획이며, 동 설비개선 사업을 통해 2060년까지 30년 계속운전을 목표로 하고 있다. 2017년 SNN社は 체르나보다 원전 1호기의 설비개선 프로세스 1단계(사업 정의 단계) 시행에 착수했다. 개선 필요사항을 포함한 타당성 조사 초안이 2022년 2월 승인되었으며, 현재 2단계(실행 준비 단계)가 진행 중이다. 2023년 3월, SNN社は 체르나보다 1호기 설비개선 2단계의 일부인 추가 설계 작업을 진행하기 위해 Candu Energy社와 계약을 체결했다.

계약 규모는 2년간 약 6,500만 달러로, Candu Energy社は 향후 진행될 리엔지니어링 프로젝트를 준비를 위해 오랜 기간에 걸쳐 기본설계 서비스를 제공할 예정이다. Candu Energy社は 기존 SNC-Lavalin社の 운영 상태 평가의 권고사항을 반영하여 설계공학 및 조달 작업을 진행할 계획이다.

2023년 가을 한국수력원자력은 캐나다 Candu Energy 社, 이탈리아 Ansaldo Nucleare 社와 체르나보다 1호기 설비개선 사업 공동 수행을 위한 컨소시엄 협약을 체결했다. 한수원은 2009년 월성 1호기 압력관 교체 당시 프로젝트 및 시공 관리를 직접 수행한 기업으로, 체르나보다 1호기 설비개선에서 방사성 폐기물 저장 시설 등 시설 전체 및 관련 인프라 건설을 담당할 예정이다. 계약 협상은 2024년 상반기에 마무리될 예정이다. 한수원은 해당 프로젝트 수행에 대해 한전 KPS, 두산에너지빌리티, 현대건설, 삼성물산은 물론 국내 원자력 중소기업들과의 협력 확대 잠재력이 있다고 언급했다.

루마니아 원전 활동에 한국 기업들이 참여할 가능성은 높다. 한국 기업은 월성 1호기 설비개선 프로젝트에서의 경험을 바탕으로 루마니아의 원전 설비개선 프로젝트(2027년 설비개선이 시작되는 체르나보다 2호기 등)를 수월하게 지원할 수 있다. 한국은 설비개선 프로젝트 참여를 통해 프로세스 시행 중 현장에서 직면하게 되는 기술적인 문제에 대한 해결 경험을 보유하게 되었다.

체르나보다 원전의 다른 원자로 3기(3, 4, 5호기)는 일부 콘크리트 구조물로 구성돼 있지만, 3호기와 4호기만 상업 운전이 계획돼 있다. 루마니아 정부는 2021년 10월 ‘에너지 및 기후변화를 위한 통합 국가 계획(Integrated National Plan for Energy and Climate Change)’을 발표하고, 이를 통해 체르나보다 원전에 3호기와 4호기 건설 계획을 밝혔다. 3호기와 4호기는 표준 CANDU 6 노형의 업데이트된 버전이 될 것으로 예상되며, 원전 가동 시 각각 720MW 규모의 전력을 생산할 예정이다. 3호기는 2031년, 4호기는 2032년 상업 운전을 시작할 예정이다.

한편, 루마니아 에너지 전략은 5호기 완공에 대한 내용은 포함하지 않고 있는데, 그 이유는 ‘원자력 발전소로 사용되기 위한 체르나보다 원자력 발전소 5호기 완공의 기회에 대한 타당성 조사(The feasibility study regarding the opportunity of completion of Cernavoda NPP Unit 5 in order to be used as a nuclear power unit)’가 완료된 이후 원자력 안전과 관련하여 내려진 결론에 기인한다. 이는 현재 운전 중인 1호기와 2호기, 그리고 향후 운전 예정인 3호기와 4호기의 안전한 운전을 보장하기 위한 목적에 맞춰 5호기의 완공 여부를 변경한다는 것이었다. 특히 타당성 조사에서는 5호기 원자로 건물을 유지보수 및 개조로 인해 발생된 폐기물의 저장 용도로 사용하고, 5호기 통합 건물을 소방서, 비상제어센터, 이동식 장비 보관, 현장 비상 인력을 위한 행정 구역 개발 등에 사용할 것을 권고하였다.

SMR 도입을 위한 정부 조치

루마니아 정부는 ‘국가 회복 및 복구 계획(PNRR)’을 통해 2032년까지 4.59GWe 규모의 석탄 발전소 폐쇄를 목표로 하고 있다. 또한 동 계획에서는 기존 석탄 발전소와 동일한 부지에 건설할 수 있고 기존 운송 인프라를 재사용할 수 있는 소형모듈원자로(SMR)의 도입 가능성을 평가하기로 결정했다. 루마니아에서 선정된 SMR 기술은 미국 NuScale Power社의 VOYGR-6으로, 6개 모듈로 구성되며 총 발전용량은 462MW다. 이는 담보비타 카운티(Dambovită County)의 도이세슈티(Doiicești)에 위치한 이전 석탄 화력발전소 부지에 건설될 예정이다. 도이세슈티 화력발전소 부지는 NuScale Power社 SMR의 설계 기준 및 안전 요건을 비롯해 국내외 표준에서 요구하는 입지 기준을 준수하고 있다. 또한 루마니아 정부가 2030년까지 SMR을 도입한다는 목표를 달성하기 위한 부지로 활용할 수도 있어, 루마니아의 SMR 도입에 있어 중심지가 될 개연성이 크다.

[그림 2] 도이세슈티의 위치와 발전소 부지 항공사진



출처: 구글어스(2024년 2월 11일 오전 8시)

2) <https://www.vg.hu/energia-vgplus/2023/06/lantos-csaba-magyarorszagon-leghamarabb2029-2030-ban-kerulhet-teritekre-egy-vagy-tobb-kis-modularis-atomreaktor-beszerzese>

[그림 3] NuScale Power社의 SMR 프로젝트 예상도



출처: Nuclearelectrica

RoPower社는 루마니아의 NuScale Power社 SMR 프로젝트 개발을 담당하는 기업이다. RoPower社와 NuScale Power社는 도이세슈티에 SMR을 건설하기 위해 2022년 말 기본설계(FEED) 계약을 체결하였다.

2023년 5월 미국은 일본, 한국, UAE의 다국적 민관 파트너들과 함께 SMR 도입을 위해 장기간의 납기가 소요되는 자재 조달, 기본설계(FEED) 작업 마무리, 프로젝트 관리 전문성 제공, 일정 및 예산 추산 등에 최대 2억7,500만 달러의 자금 지원을 발표했다.

2023년 가을 SNN社와 NuScale Power社는 루마니아 원자력규제위원회(CNCAN)로부터 동 SMR 원전과 관련하여, ‘인허가기준문서 (Licensing Basis Document, LBD)’를 승인 받았다. 이는, CNCAN이 평가를 거쳐 기본인허가자료(Basic Authorization Document, BAD)가 국가 규제 요건을 준수했음을 인증하는 공식 허가증이다. 기본인허가 자료의 승인은 SMR 프로젝트의 핵심 단계로, 허가증이 발급되면 루마니아의 NuScale Power 원전

개발의 모든 단계에 대한 인가 프로세스 시행이 촉진된다. 기본인허가자료는 6개 모듈로 구성된 원전 설계, 규제 문서, 적용 가능한 국내외 법령과 기준, 원자력 안전 요건과 기준을 충족하는 설계 특징 등에 관한 인가 요구사항에 대해 설명한다. 자료는 또한, 프로젝트 개발의 모든 단계에 대한 허가 프레임워크를 수립을 지원하기 위해 미국 원자력규제위원회(NRC)가 NuScale Power社의 표준플랜트 설계(Standard Plant Design)에 대해 발급한 설계인증(Design Certificate) 내 참고 설계 인허가 근거, CNCAN이 발표한 인허가 요구사항 및 루마니아 원자력 안보 규제 내용을 포함하고 있다. 기본인허가자료는 2단계 기본설계(FEED2)에 착수하기 위해 존재하며, 이를 거쳐 프로젝트의 다음 단계로 이동한다. CNCAN이 기본인허가자료를 승인함으로써, 부지선정, 건설, 시운전, 상업 운전 등 프로젝트 핵심 단계를 완료하기 위한 인허가 계획이 윤곽을 갖추게 된다.

SMR은 원자로 모듈을 공장에서 생산하고, 원전 현장으로 운송 및 현장조립이 가능하다는 특징을 갖고 있다. 루마니아 SMR 건설이 추진됨에 따라, 해외 원전기업이 루마니아 기자재 시장에 진출할 가능성이 높아질 것으로 예상된다.

이 외의 루마니아 원자력 관련 움직임

루마니아는 운전 중인 CANDU 원자로에서 발생하는 삼중수소를 제거하기 위해 체르나보다 원전 부지에 삼중수소제거설비(CTRF)를 건설할 계획이다. 이 설비는 사람에 대한 선량률(dose rate)을 줄이고 방사성 물질의 환경 배출을 줄이기 위해 원자로의 냉각재와 감속재에서 삼중수소를 추출 및 처리하는 역할을 한다. 루마니아는 캐나다 Ontario Power Generation社의 달링턴(Darlington) 원전, 한수원의 월성 원전 등 외국 기업의 경험을 삼중수소제거설비 및 원전 공급망 개발에 유용하게 활용할 수 있다. 2023년 6월 SNN社와 한수원은 루마니아에서 삼중수소제거설비와 관련해 조달 및 건설 계약을 체결했다. 루마니아는 융합 기술의 잠재적 후보국으로서 삼중수소의 생산과 수출의 유럽 역내 허브가 되는 것을 목표로 하고 있으며, 현지 공장과 인력을 통해 자체 공급망을 개발할 계획이다.

루마니아는 현재 원자력 R&D 활동에 전적으로 주력하고 있다. 2013년 루마니아 원자력연구소(ICN)의 루마니아 부지에 개량형 납냉각고속로 유럽 실증로(Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator, ALFRED)를 건설하기 위해 이탈리아 국립에너지연구원(ENEA), Ansaldo Nucleare社, ICN社로 구성된 컨소시엄이 구성되었다. ICN은

국영 기업 RATEN社의 계열사 중 하나로, R&D 활동의 오랜 전통을 갖고 있으며, TRIGA 연구용 원자로를 운전하고 있다. RATEN社의 또 다른 계열사인 CITON(Center of Technology and Engineering for Nuclear Projects)은 루마니아 원자력 에너지 프로그램을 위한 기술 지원을 제공하고 있다.

결론

루마니아는 2050년 유럽기후협약의 목적을 달성하기 위해 원자력 기술 도입을 추진하며 지난 10년간 국제 협력을 강화해왔다. 현재 세계적으로 인정 받는 안전한 원전 운영 실적과 원자력 분야의 탄탄한 연구 프로그램을 통해 루마니아는 신규 원자력 기술 개발 측면에서 여전히 유럽을 주도하고 있다.

외국 기업들은 루마니아에 투자하고 현지에서 사업을 운영하는 데 어려움을 겪고 있다. 루마니아 정부는 외국 투자 유치를 권장하지 않으며 통상적으로 외국 투자자들에게 번거로운 세금 정책, 가혹할 만큼의 엄격한 규제를 적용한다. 이처럼 외국 기업에 불리한 정책은 에너지 대기업이 막대한 수익을 올릴 경우, 결국 현지 소비자들이 과도한 비용을 부담할 것이라는 인식이 작용한 결과다.

이와 관련하여 원자력 분야의 대표적인 사례 중 하나가 바로 중국과 루마니아의 협정이다. SNN社は 2015년 중국광핵집단공사(CGN)와 체르나보다 원전 3호기와 4호기 건설 계약을 체결했지만, 자금조달에 대한 루마니아 정부의 국가 보증 문제 등에서 합의점을 찾지 못하면서 양사 간 협상은 2020년 무산됐다.

그러나 루마니아 원전 산업에 외부 기업이 참여할 기회는 충분하다. SNN社와 RoPower社, 다수의 한국 기업들이 체결한 협약 하 중소 원전 기업들이 루마니아의 니즈에 따라 루마니아 시장에 진출할 수 있는 기회가 여전히 존재한다. 중소기업들이 성공할 수 있는 한 가지 방법은 루마니아 원전 시장에 활발히 참여하고 있는 한국 대기업들과 컨소시엄을 꾸리고 협약을 체결하는 것이다.

루마니아 원전 시장은 외국 기업들에게 어려움과 동시에 기회를 제공한다. 중소기업들은 루마니아 정부 정책 및 규제 환경에 대한 철저한 분석과 함께 장기적인 관점에서 투자 및 사업을 추진할 필요가 있다.

해당 원고에 대해 사전 동의 없이 상업 상 또는 다른 목적으로 무단 전재·변경·제 3자 배포 등을 금합니다.
또한 본 원고를 인용하시거나 활용하실 경우 △출처 표기 △원본 변경 불가 등의 이용 규칙을 지켜셔야 합니다.
해당 원고의 내용은 집필자 개인의 의견으로 한국원전수출산업협회의 공식견해가 아님을 밝힙니다.