

글로벌 원전 시장 보고서

Nuclear Decommissioning Market Analysis

원전해체 시장 분석 보고서

원전수출정보시스템
(K-neiss)





I. 글로벌 원전해체 시장 03

1. 원전해체란?
2. 글로벌 원전해체 시장 현황 및 전망

II. 주요 원전해체 시장 08

1. 미국
2. 일본
3. 남아공
4. 루마니아
5. 네덜란드
6. 영국

※ 참고문헌

I. 글로벌 원전해체 시장

1. 원전해체란?
2. 글로벌 원전해체 시장 현황 및 전망

1. 원전해체란?

원전해체의 정의

원자력 산업에서 원전해체는 포괄적인 용어로, 원자력 시설의 고유기능 제거 시 작업자 및 일반 대중의 건강과 안전을 확보하고 환경을 보호하면서 원자력 시설의 사용연한이 끝나는 단계에서 취해지는 영구적 폐쇄, 제염, 해당 시설과 부지 철거, 규제 해제 등의 모든 활동을 의미함. 원전해체는 방사성 물질과 유해 물질이 부지에서 제거되고, 이전에 원자력 시설로 사용했던 건물과 부지가 새로 사용될 수 있도록 준비된 이후에 완료된 것으로 간주되며 원전해체 과정의 마지막 단계로 부지에 방사능이 없는지 확인하기 위한 광범위한 조사가 실시된 후 규제가 해제됨

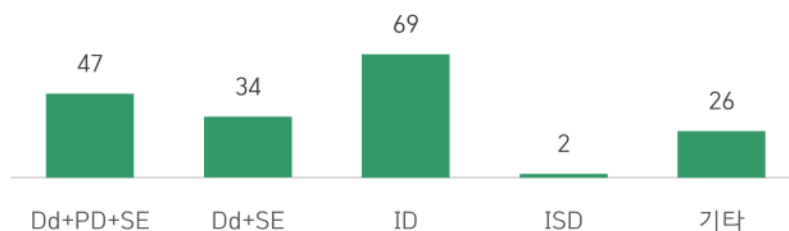
원전해체 전략

원전해체는 다양한 범주를 아우르는데, 대규모 원자력 시설의 경우 대규모 제염 및 콘크리트 구조물 철거 등이 포함되는 반면 방사성동위원소 연구소의 경우 단순한 세척 및 제염만 필요한 경우도 있음. 특정 시설에서 적절한 원전해체 전략을 선정할 때는 비용, 보건 및 안전 문제, 환경 영향, 자원 가용성, 이해관계자 참여 등 다양한 요소를 고려해야 함

원전해체 전략은 국제원자력기구(IAEA)가 정의한 3가지 전략이 통용되고 있음. 첫 번째는 즉시해체로 영구정지 또는 규제된 활동 종료 후 수 개월에서 수 년 안에 최종 해체 활동을 시작함. 두 번째는 지연해체로 영구정지 후 사용후핵연료를 제거하고 안전한 상태로 40~60년 동안 관리하여 방사능이 저감되면 본격적인 해체 활동을 수행함. 세 번째는 차폐격리로 부지 내 방사성 물질을 제거하지 않고 시설을 구조물로 덮어 장기간 격리하는 방법임

[표] 원전해체 전략별 전 세계 해체 진행/완료된 원전 수

(단위: 기)



ID(Immediate dismantling): 즉시해체

Dd(Deferred dismantling)+SE(Safe enclosure): 지연해체, 모든 방사능 지역을 안전밀폐(SE)

Dd+PD(Partial dismantling)+SE: 지연해체, 부분해체(PD) 및 나머지 방사능 지역을 안전밀폐(SE)

ISD(In situ disposal): 방사성 물질 밀봉을 통해 접근을 제한하는 현장 처분

출처: World Nuclear Supply Chain Edition 2023, 2022년 12월 31일 기준

원전해체 절차

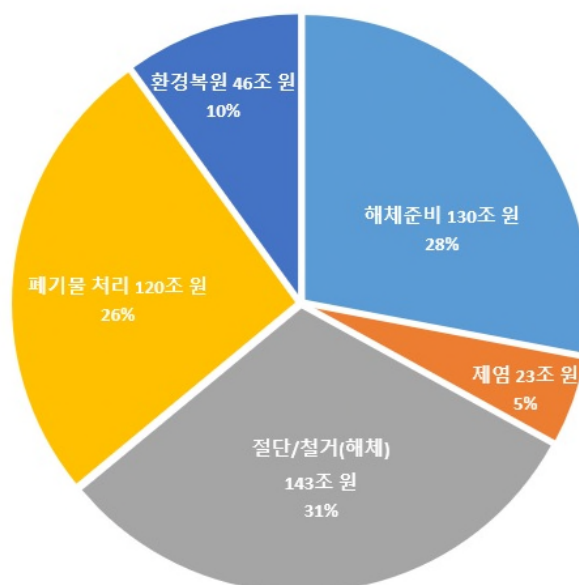
원전해체 절차는 해체준비 - 운전 영구정지 - 해체설계 - 인허가 - 제염 및 절단 공사 - 철거 - 폐기물 처리 - 재사용을 위한 부지 복원 - 최종 조사 및 규제 해제 등의 순서임

해체준비 단계에서 원전해체 성공의 핵심은 설계단계, 규제 승인 등 프로젝트를 주의 깊게 계획하고 모든 사항을 검토하는 것임. 운전 영구정지 단계에서는 노심에서 핵연료를 제거해 사용후핵연료 저장시설로 이전하며 시설의 안전 및 폐기물 관리 시스템을 조정하는 것임

제염 및 절단 공사 단계는 방사성 물질의 제염 작업이 이루어짐. 방사성 물질의 크기를 줄인 후 폐기물 포장 작업을 하거나 추가 처리를 위해 시설에서 제거함. 철거 단계에서 모든 건물, 구조물, 비방사성 부품들을 철거해 최대한 재활용하며 폐기물 처리 단계에서는 방사성 폐기물을 별도로 처리하여 저장하거나 처분함

재사용을 위한 부지 복원 단계는 오염된 토양이나 기타 폐기물을 제거하여 부지가 재사용될 수 있도록 준비하며, 구조물을 제거하기 위해 생긴 땅의 구멍들을 메움. 최종 조사 및 규제 해제 단계에서 부지에 대한 잔류오염도 조사 및 평가를 수행한 후, 이 결과에 따라 규제 해제가 이루어지며 다른 목적으로 재사용이 가능해짐

[그래프] 글로벌 원전해체 단계별 시장규모(2020~2145년)



출처: 산업통상자원부

2. 글로벌 원전해체 시장 현황 및 전망

원전 운영 현황

2022년 12월 31일 기준 전 세계 운전 중 원전은 411기, 건설 중 원전은 58기, 운전정지 원전은 27기, 영구정지 원전은 204기임. 이 중 해체완료된 원전은 21기로 미국, 독일, 일본, 스위스의 원전임. 영구정지 원전 대부분은 초기 원전 도입국 중심으로 분포되어있으며 미국 41기, 영국 36기, 독일 30기, 일본 27기, 프랑스 14기 등 전체 204기 중 148기로 약 72%를 차지함¹⁾

가동연수 기준으로 40년 이상 된 원전 수는 122기로 29.7%를 차지하며 30~40년 미만은 153기(37.2%), 20~30년 미만은 43기(10.5%), 10~20년 미만은 28기(6.8%), 0~10년 미만은 65기(15.8%)임

2022년 12월 31일 기준 운전 중인 원전의 약 73.2%는 가압수형 원자로(PWR²⁾), 11.2%는 가압중수로(PHWR³⁾), 10.2%는 비등수형 원자로(BWR⁴⁾)이며 나머지 5.3%는 고온가스냉각로(HTGR⁵⁾), 가스냉각로(GCR⁶⁾), 흑연감속경수냉각로(LWGR⁷⁾), 고속증식로(FBR⁸⁾)로 구성됨. 국제원자력기구(IAEA)에 따르면 원자로의 신뢰성과 안전성은 시간이 지남에 따라 계속 향상되어 옴⁹⁾¹⁰⁾

[표] 국가별 원전 운영 현황

구분	국가											합계
	미국	프랑스	중국	러시아	한국	캐나다	안도	우크라이나	일본	영국	기타	
운전 중	92	56	54	37	25	19	19	15	10	9	75	411
건설 중	2	1	20	3	3	0	8	2	2	2	15	58
운전정지	0	0	0	0	0	0	4	0	23	0	0	27
영구정지	41	14	0	10	2	6	0	4	27	36	64	204
합계	135	71	74	50	30	25	31	21	62	47	154	700

출처: IAEA, 2022년 12월 31일 기준

1) IAEA, CNPP- Global Status and Development of Nuclear Power Programmes

2) Pressurized Water Reactor

3) Pressurized Heavy Water Reactor

4) Boiling Water Reactor

5) High Temperature Gas cooled Reactor

6) Gas Cooled Reactor

7) Light Water Graphite moderated Reactor

8) Fast Breeder Reactor

9) IAEA, Nuclear Power Reactors in the World

10) IAEA, IAEA Releases 2019 Data on Nuclear Power Plants Operating Experience

원전해체 시장 규모 및 전망

전 세계적으로 수명을 다한 노후 원전이 증가함에 따라 세계 원전해체 서비스 시장은 빠른 속도로 성장할 것으로 예상됨. 2021년부터 2050년까지 글로벌 원전해체 시장 규모는 초기 원전 도입국인 미국, 영국, 독일, 일본, 프랑스를 중심으로 1,250억~1,350억 달러 규모로 증가할 전망이다. 원전이 수명을 다할 경우 10여 년간 해체 활동에 수억 달러의 비용이 소요될 것으로 예상되며, 해체 활동 지원을 위한 원전해체 시장의 규모가 커질 것으로 전망됨

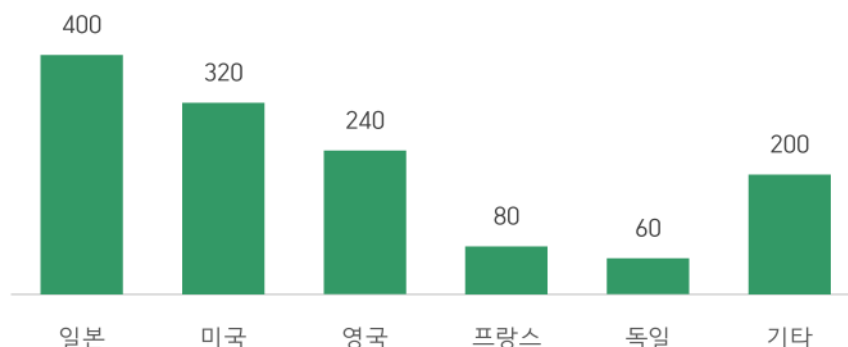
2021~2050년 원전해체 시장에 대한 가장 큰 기여국은 일본으로 400억 달러 규모에 이를 것으로 예상되며 다음은 미국(320억 달러), 영국(240억 달러), 프랑스(80억 달러), 독일(60억 달러) 순임. 이들 국가는 세계 시장의 80% 이상을 차지함

원전해체에는 원전 외에도 연구센터, 사용후핵연료 재처리 시설, 폐기물 처리 시설 등 핵연료주기와 관련된 많은 시설 해체도 포함됨. 원전해체 비용은 지역뿐만 아니라 원자로 종류, 인건비, 규제 정책, 원전 부지의 규모와 복잡성, 해체 작업의 범위 등에 따라 달라짐. 전 세계적으로 2050년까지 약 200기의 원전이 해체 작업에 착수할 것으로 보임

한편, 세계 각국과 규제기관은 방사성 물질의 적절한 취급과 원전의 안전한 폐쇄를 보장하기 위해 보다 엄격한 지침을 시행하고 있음¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾

[그래프] 국가별 원전해체 시장 규모 전망(2021~2050년)

(단위: 억달러)



출처: EY-Parthenon

11) IAEA, Nuclear Decommissioning Market Set to Boom

12) Zion Market Research, Nuclear Decommissioning Services Industry Prospective

13) Yahoo, Global Nuclear Decommissioning Services Business Research Report 2023-2030: Europe and United States Prime for Growth of Nuclear Decommissioning Service Market, 2023.10.24

14) PR Newswire, Global Nuclear Decommissioning Services Market to Reach \$7.5 Billion by 2026, 2022.05.22

Ⅱ. 주요 원전해체 시장

1. 미국
2. 일본
3. 남아공
4. 루마니아
5. 네덜란드
6. 영국

1. 미국

원전해체 현황

2022년 12월 31일 기준 미국의 운전 중 원전은 92기(9만 4,718MW), 건설 중 원전은 2기(2,234MW), 영구정지 원전은 41기(2만 2,958MW)이며 해체완료된 원전은 16기임. 해체완료된 원전은 상업로와 실증/원형로 각각 8기로 가압수형 원자로(PWR) 7기, 비등수형 원자로(BWR) 5기, 가압중수로(PHWR) 1기, 가스냉각로(GCR) 1기, 기타 2기임. 해체 진행 중인 원전은 25기이며 21기의 원전이 원전해체 전략으로 자연해체를 선택함. 자연해체 원전의 대부분은 동일 부지 내 다른 원전이 운전 중인 상황임

미국은 원전해체에 관한 구체적인 규정이 있는 국가임. 원전해체에 관한 규정은 1971년 처음 공표되었으며, 1979년 3월 미국 펜실베이니아주 미들타운 근처 Three Mile Island 원전 2호기 사고 이후 9년간 재정비되어, 1988년 미국 원자력규제위원회(NRC)가 발표하였고, 1996년 최종 개정됨. 이에 따라 NRC의 규제를 받는 원자력 시설들은 동 규정에 따라 해체 활동을 해야 함¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾

[표] 미국 해체완료 원전

원전	노형	출력(MWe)	운영년도	정지년도	해체완료
BIG ROCK POINT	BWR	67	1962	1997	2007
BONUS	BWR	17	1964	1968	1970
CVTR	PHWR	17	1963	1967	2009
ELK RIVER	BWR	22	1963	1968	1974
FORT ST. VRAIN	HTGR	330	1976	1989	1996
HADDAM NECK	PWR	560	1967	1996	2008
HALLAM	X	75	1963	1964	1971
MAINE YANKEE	PWR	860	1972	1997	2005
PATHFINDER	BWR	59	1966	1967	2007
RANCHO SECO-1	PWR	873	1975	1989	2009
PIQUA	X	12	1963	1966	1969
SAXTON	PWR	3	1967	1972	2005
SHIPPINGPORT	PWR	60	1957	1982	1990
SHOREHAM	BWR	820	1986	1989	1995
TROJAN	PWR	1095	1975	1992	2005
YANKEE NPS	PWR	167	1960	1991	2005

출처: USNRC, IAEA, WNA

15) IAEA, United States of America, 2023

16) World Nuclear Org, Nuclear Power in the USA, 2024.01

17) NRC, Sites Undergoing Decommissioning (by Location or Name)

원전해체 시장 현황

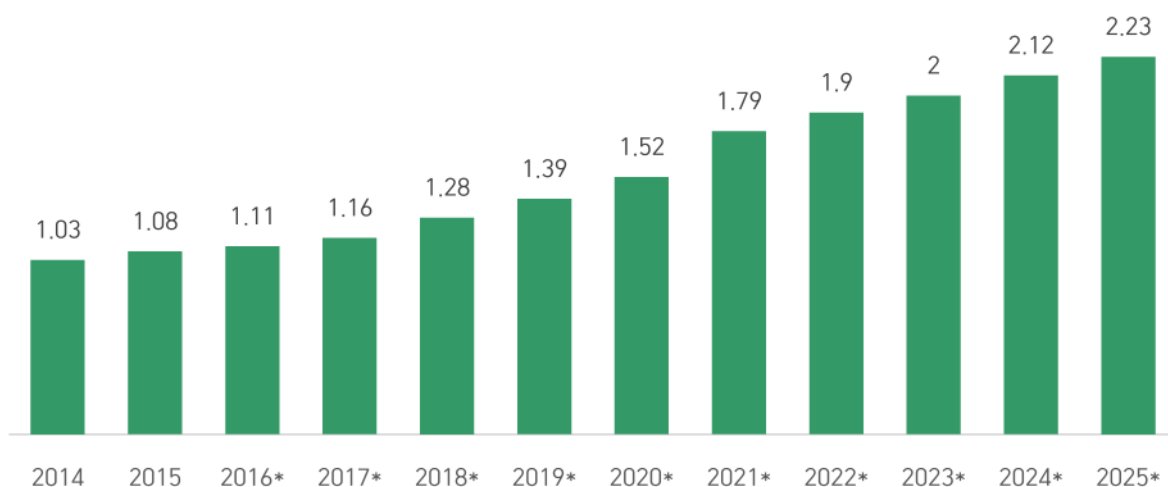
2023년 기준 미국은 세계에서 원전해체 경험과 30년 이상 가동 중인 노후 원전 수가 가장 많은 국가임. 또한, 영구정지 원전이 계속 증가함에 따라 원전해체 시장의 규모도 확대되고 있는 추세이며 2021~2050년까지 미국의 원전해체 시장 규모는 320억 달러에 이를 것으로 예상됨

미국은 원전 운영기업이 원전해체 활동을 수행하고 있으며, 정부는 원전해체 프로젝트 지원을 위한 제도를 제정함. 원전해체 프로젝트는 원전 사업자와 원전해체 전문기업 간 계약 체결 후 수행되며 미국 원자력규제위원회(NRC), 에너지부(DOE), 환경보호청(EPA) 등의 기관이 해체 비용 확보, 안전성, 규제 등을 관리함. 원전 운영기업은 원전해체 프로젝트의 계획을 수립하고 자금을 확보한 후 원전해체 절차인 해체준비 단계부터 재사용을 위한 부지 복원 단계까지 작업을 수행할 기업들을 선정하여 해체 작업을 추진함. 미국의 대표적인 원전해체 전문기업으로는 미국 Zion 원전 1·2호기 및 Three Mile Island 원전 2호기, 영국의 다수 원전해체 프로젝트 등에 참여하고 있는 에너지솔루션즈(Energy Solutions)가 있음

한편, 미국 NRC는 원전의 해체 비용을 해체 기간, 원자력 시설의 형태 및 위치, 발생한 폐기물의 처리비용 등을 고려하여 3억~4억 달러로 추산하고 있으며 원전 영구정지 이후 60년 이내에 해체할 것을 권고함¹⁸⁾¹⁹⁾

[그래프] 미국 원전해체 시장 규모(2014~2025년)

(단위: 10억 달러)



출처: Grand View Research

18) NRC, Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants

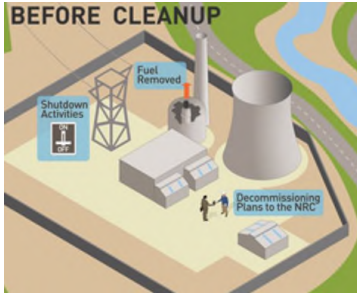
19) Nuclear Engineering International, EnergySolutions increases support for new nuclear initiatives, 2023.06.27

원전해체 규제 현황

미국 원자력규제위원회(NRC)는 원전해체 작업자 및 일반 시민의 안전을 최우선으로 해체 작업의 모든 과정을 강력히 규제하고 있음. 원전해체에 대한 규정은 미국 NRC의 연방법규집(CFR) 10항에 명시되어 있으며 1996년 8월 해체(decommissioning)를 재정의하고 사업자가 계획된 해체 활동을 NRC에 조기 통지하도록 요구하는 개정 규칙이 발효됨. 이 규정은 관련 정보가 NRC와 대중에 제공될 때까지 주요 해체 활동을 수행하는 것을 허용하지 않음. 미국 NRC, 산업안전보건청(OSHA, Occupational Safety and Health Administration), 교통부, 환경보호청은 해체 과정 전반을 규제 감독함

또한, 모든 원자력 시설은 NRC의 해체 자금 조달 규정을 준수해야 함. 해체 비용에는 인건비, 에너지, 폐기물 운송 및 처리 등 세 가지 요소가 포함됨. 각 원전 사업자는 각 원자로 해체에 대한 자금지원 현황을 NRC에 보고해야 하며 미국 연방법규집 10항 50.75(c)에 정의된 공식을 사용해 해체에 필요한 최소 비용을 추산해야 함²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾²⁴⁾

[표] 원전해체 3단계

단계	내용
1) 가동에서 해체로 전환	사업자가 원전을 영구 폐쇄할 경우 NRC에 30일 이내에 가동 영구정지 증명을 서면으로 NRC에 제출해야 하며, 원자로 압력용기에서 핵연료를 영구 제거하면 NRC에 또 다른 서면 증명을 제출해야 함. 사업자는 영구 폐쇄 증명을 제출한 후 2년 내 폐쇄 후 해체활동 보고서를 NRC에 제출해야 함. 여기에는 계획된 해체 활동 설명, 수행을 위한 일정, 예상 비용 추산치 등이 포함됨. 
2) 주 해체 공사	NRC가 계획 보고서를 수령한지 9일 내로 사업자는 NRC 승인 없이 주 해체 공사를 시작할 수 있음. 원자로 용기, 스팀 발전기, 대형 파이프 시스템, 밸브 등 주요 부품의 영구 제거가 해당됨.
3) 라이선스 종료 활동	사업자는 라이선스 종료일로부터 2년 내 라이선스 종료 계획을 제출해야 함. 부지 특성화, 남은 부지 해체 활동, 부지 복원 계획, 최종 방사선 조사에 대한 세부 계획, 남은 해체 비용 추산치 업데이트, 환경보고서 보완 등이 해당됨. 계획 대부분은 부지를 제한 없이 사용할 수 있도록 대중에게 돌려주는 것이 핵심으로, 잔류 방사선이 NRC의 연간 노출 한도인 25밀리렘 미만이며, NRC의 규제 통제를 받지 않음을 의미함. 잔여 해체가 승인을 받은 라이선스 종료 계획에 따라 수행될 경우, NRC의 최종 조사에 따라 시설과 부지가 반환에 적합한 것으로 판단되면 NRC는 운영 라이선스 종료 서한을 발급함.

출처: NRC - Background on Decommissioning Nuclear Power Plants

20) NRC, Decommissioning of Nuclear Facilities

21) NRC, Decommissioning Regulations

22) NRC, Decommissioning Guidance

Trojan 원전해체 프로젝트

Trojan 원전은 1,130MW 규모의 가압경수로(PWR)로, 미국 오리건주 컬럼비아 카운티에 건설되었으며, 미국 유틸리티 기업 Portland General Electric(PGE)가 원전을 소유 및 운영 중임. 동 원전은 1970년 착공되어 1976년 상업운전을 개시하였으며 당시 오리건주의 발전용량 중 12% 이상을 차지함. 1993년 1월 PGE는 미국 원자력규제위원회(NRC)와 오리건 주정부에 해체의사를 밝혔으며 1995년 1월 해체 계획서를 제출함

당초 Trojan 원전의 라이선스는 2011년 종료될 예정이었지만 증기발생기 배관에 균열이 발견되면서 1992년 폐쇄되었고 이후, 1993년 원전해체 과정이 시작되어 2008년 완료됨. 2005년 동 원전에서 원자로 용기와 기타 방사성 장비들이 제거됨

원자로 용기는 컬럼비아강을 따라 바지선으로 운반되어 미국 수도 워싱턴에 있는 한포드 방사성폐기물 처리장(Hanford Nuclear Reservation)에 저장되었으며, 사용후핵연료는 유카마운틴 방사성폐기물 저장소(Yucca Mountain Repository)로 운송됨. NRC 라이선스는 2005년 종료되었으며 오리건주 에너지부는 해체 계획 및 사용후핵연료 저장이 오리건주 행정규칙 345-026-0370(4) 및 345-026-0390을 준수하는지를 지속적으로 모니터링 중임²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾

[표] Trojan 원자력 발전소 정보

위치	미국 오리건 주 레이니어
운영사	Potland General Electric Company
총 건설비	16억 달러
총 발전량	1,130MW
부지 규모	630에이커
현황	해체됨
해체비용	7억 달러
라이선스 종료	2005년
부지 내 사용후핵연료	542톤



출처: The Nuclear Decommissioning Collaborative - Trojan

23) NRC, Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants

24) NEI, Decommissioning Nuclear Power Plants

25) Oregon.Gov, Trojan Nuclear Plant

26) NRC, PGE-1061, Trojan Nuclear Plant Decommissioning Plan & License Termination Plan

27) TrojanDown.org, History of the Trojan Nuclear Power Plant

2. 일본

원전해체 현황

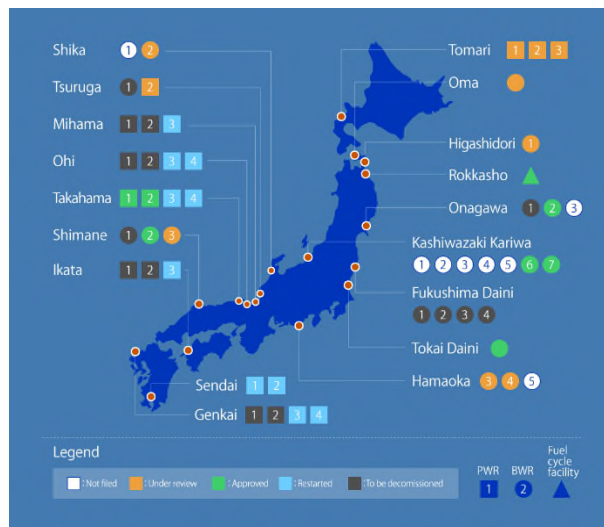
2022년 12월 31일 기준 일본의 운전 중 원전은 10기(9,486MW), 건설 중 원전은 2기(2,653MW), 운전정지 원전은 23기(22,193MW), 영구정지 원전은 27기(1만 7,023MW)이며 해체완료된 원전은(12MWe) 1기임. 해체완료된 원전은 동력시험로(JPDR)로 1976년 운전이 정지되었고 1996년 해체가 완료됨

2022년 해체를 진행 중인 원전은 총 21기로 후겐 신형전환로(FUGEN ATR²⁸⁾), 후쿠시마 다이치 원전 1~6호기, 젠카이(Genkai) 1~2호기, 하마오카(Hamaoka) 1~2호기, 이카타(Ikata) 1~2호기, 미하마(Mihama) 1~2호기, 토카이(Tokai) 1호기, 시마네(Shimane) 1호기, 쓰루가(Tsuruga) 1호기, 몬주(Monju), 오히(Oh) 1~2호기 등이 포함됨

2015년 3월 일본 경제산업성 산하 자원에너지청(ANRE)은 오래된 소형 원전해체를 장려하기 위해 전력업체가 해체 비용을 기존 1회가 아니라 최대 10년까지 분할 산정할 수 있도록 전기사업법(Electricity Business Act) 회계규정을 개정함

한편, 2022년 일본의 전체 전력 생산량 중 원자력은 약 6.1%의 비중을 차지함. 일본은 2050년까지 안정적인 에너지 공급 및 탄소 중립 달성을 위해 안전을 최우선으로 하고 원전 재가동을 추진할 예정임. 제6차 에너지전략계획에서 2030회계연도 원자력의 목표 비중을 20~22%로 설정함²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾

[그림] 일본 원전 운영 현황



출처: 일본 FEPC

28) Advanced Thermal Reactor

29) IAEA CNPP - Japan 2023

30) World Nuclear Org, Nuclear Power in Japan, 2024.01

31) NRA Japan, Present States of Operation

원전해체 시장 현황

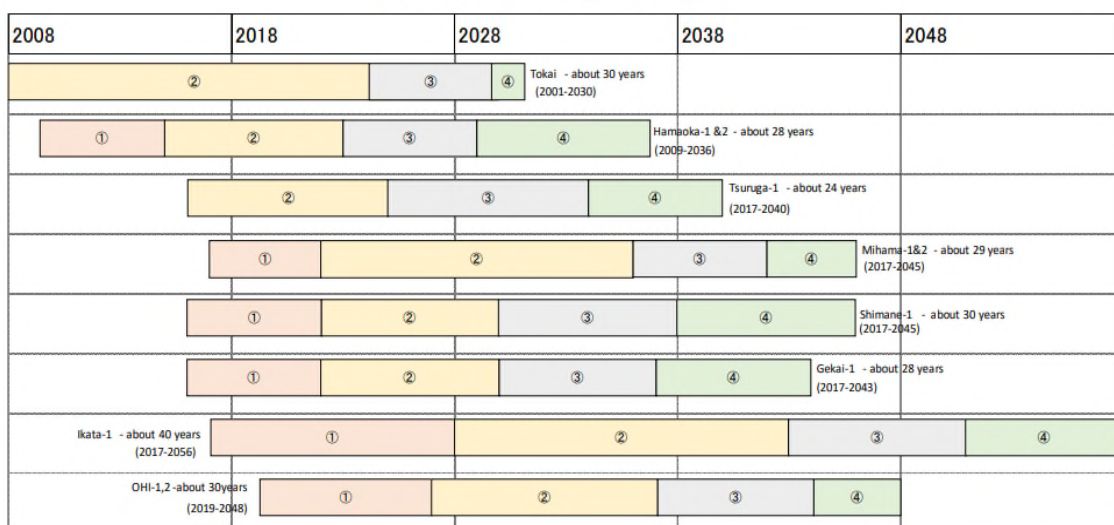
2021~2050년까지 일본의 원전해체 시장 규모는 400억 달러로 전망되며, 이 기간 글로벌 원전해체 시장에 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상됨. 일본에서 대형 원전해체는 이제 막 시작 단계에 있음. 따라서 일본 원전해체 산업의 기술적 역량은 꽤 발전했지만, 대규모 프로젝트에 대한 실제 경험은 제한적임. 원전해체 기술 대부분은 동력시험로(JPDR) 해체 중 또는 모형(mock-up) 시설에서 실험적 환경에서만 테스트 된 바 있음

한편, 일본의 원전해체 시장은 주요 기업 및 건설 기업과 그 자회사 등 크게 두 가지로 구분됨. 기업들 대부분은 원전해체를 별도 시장으로 보기보다는 원전의 건설 및 운영의 연장선에 있는 것으로 보고 있으며, 기업들은 이미 초기 단계에 참여한 기업과 동일한 기업인 경우가 많음. 또한, 전력업체들과 긴밀하고 오랜 관계를 쌓아온 덕분에 큰 영향력을 행사하며 중요한 우위를 점함. 규모와 제품 포트폴리오와 관계없이 시장에서 비슷한 입지를 갖는 유럽 기업과는 대조적임

일본의 원전해체 책임은 원전 운영기업에 있지만 일본원자력연료(JFNL, Japan Nuclear Fuel Limited) 등이 안정성이 중요한 폐기물 처리를 관리함. 또한, 일본은 후쿠시마 원전 사고 이후 일본 국제폐로연구개발기구(IRID, International Research Institute for Nuclear Decommissioning)를 설립하여 도시바(Toshiba), 히타치(Hitachi) 등 대기업과 지역 중소기업의 참여를 독려하며 해체 대상 시설이 많은 지역에 원전해체 관련 산업 인프라를 구축 중임

[표] 일본 원전해체 진행

Decommissioning in Progress



① 해체준비 ② 원자로 주변 해체 ③ 원자로 해체 ④ 원자로 건물 해체

출처: 일본 NRA

원전해체 규제 현황

후쿠시마 원전 사고 이후 원전해체를 위한 법과 규제 체제가 재정비됨. 사고 이전에 일본의 원전해체 전략 관련 법은 ‘원자력기본법(Atomic Energy Basic Law)’과 ‘핵원료물질, 핵연료물질 및 원자로의 규제에 관한 법률³²⁾’로 모두 일본 원자력 프로그램의 초기에 제정됨. 후쿠시마 원전 사고 이후인 2012년 두 번째 법이 일부 개정되어 일본 원자력규제위원회(NRA)가 설립됨. 일본 환경부 산하 NRA는 해체 과정 중의 안전을 포함한 원자력 안전을 담당하며, 원전해체에 관한 책임은 원전 운영기업이 짐

원전의 상업운전 종료 및 폐쇄 이후, 원전 운영기업은 해체 프로젝트 일정, 서비스 기간, 안전 분석, 폐기물 추산치, 원하는 시설의 최종 상태 등을 포함한 최종 해체 계획을 NRA에 제출해야 함. 규제당국의 승인을 받으면 현장 작업을 시작할 수 있으며, 해체 계획 시행은 승인받은 해체 계획에 기재된 일정을 엄격히 준수해야 함. 각 단계가 완료되면 일본 NRA의 확인을 받은 후 다음 단계로 넘어갈 수 있음. 일본 NRA가 안전 감독 및 규제를 담당하고 있지만, 시설 소유자에 대한 감독은 여전히 경제산업성과 문부성 담당이며 원전해체 작업을 수행하는 계약업체들은 보통 경제산업성이 감독함

또한, 일본 NRA는 시설의 최종 상태를 검사하고 규제 해제 여부를 결정함

[표] 일본이 선호하는 25~40년 원전해체 계획



SAFSTOR: 자연해체 방식으로 핵연료 제거 후 시설의 전부 또는 일부를 추후 제염·철거할 때까지 안전하게 저장하고 유지할 수 있도록 처리 또는 보관 매물

출처: McKinsey - Decommissioning and dismantling Japan's nuclear power plants

32) Law for the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors

후쿠시마 원전해체 프로젝트

일본 정부는 후쿠시마 원전 1~4호기의 해체를 위한 전략을 개발하기로 결정했으며, 2011년 12월 21일 ‘후쿠시마 다이치 원자력 발전소 1~4호기 해체를 위한 중기 및 장기 로드맵’을 발표함. 이 로드맵에 따르면 ▲사용후연료저장조(SFP, Spent Fuel Pool)에서 연료 회수, ▲노심 내 연료 잔해 제거, ▲원전해체 완료 등 3단계로 30~40년간 원전해체 프로젝트가 진행될 것으로 예상됨

그러나, 후쿠시마 원전사고로 인한 일본 국민의 반원전 정서가 거세지자 일본 정부는 국민을 달래기 위해 후쿠시마 원전 5~6호기를 원전해체 프로젝트에 포함시키기로 결정함. 이에 도쿄전력(TEPCO)의 ‘후쿠시마 다이치 원자력 발전소의 해체를 위한 2015년 기술전략계획 - 2015년 중기 및 장기 로드맵 수정을 향하여’가 2015년 4월 30일 발표되었으며 원전해체 프로젝트 기간은 50년으로 연장됨

원전해체 전문기술 부족과 전례 없는 원전 사고로 인해 현장에서 여러 기술적인 실험이 진행됨. 외부 제염이 진행되고 있지만, 원자로 건물 내 선량률은 여전히 높으므로 원격 제어가 가능한 로봇이 투입됨. 현재 프로젝트는 파손된 원자로의 SFP에서 사용후핵연료를 회수하고 원자로 내부를 탐사하는 데 주력하고 있음. 도쿄전력은 3호기의 SFP에서 사용후핵연료를 회수할 준비를 하고 있음. 4~6호기의 회수는 이미 완료됨. 이 단계를 완료한 후 1~3호기에서 노심용융물(corium)을 제거하는 방법이 결정되고 시행될 예정임. 최종 단계에서는 5호기와 6호기부터 원자로를 철거하게 됨

일본 정부와 도쿄전력은 녹은 연료 잔해와 기타 오염된 폐기물을 위한 저장공간 등 원전해체를 위해 필요한 시설을 마련하기 위해 탱크에 보관한 방사성 폐수를 방출하기로 함. 도쿄전력은 2024년 3월 말까지 3만 1,200톤의 폐수를 방출할 계획이라고 밝힘³³⁾³⁴⁾

[표] 후쿠시마 원전

항목	1호기	2호기	3호기	4호기	5호기	6호기
모델	BWR-3	BWR-4				BWR-5
노형	비등수형 원자로(BWR)					
발전용량	439MWe	760MWe	760MWe	760MWe	760MWe	1067MWe
착공일	1967년 7월	1969년 6월	1970년 12월	1973년 2월	1972년 5월	1973년 10월
상업운전일	1971년 3월	1974년 7월	1976년 3월	1978년 10월	1978년 4월	1979년 10월



후쿠시마 원전 1~4호기

출처: IAEA

3. 남아공

원전 운영 현황

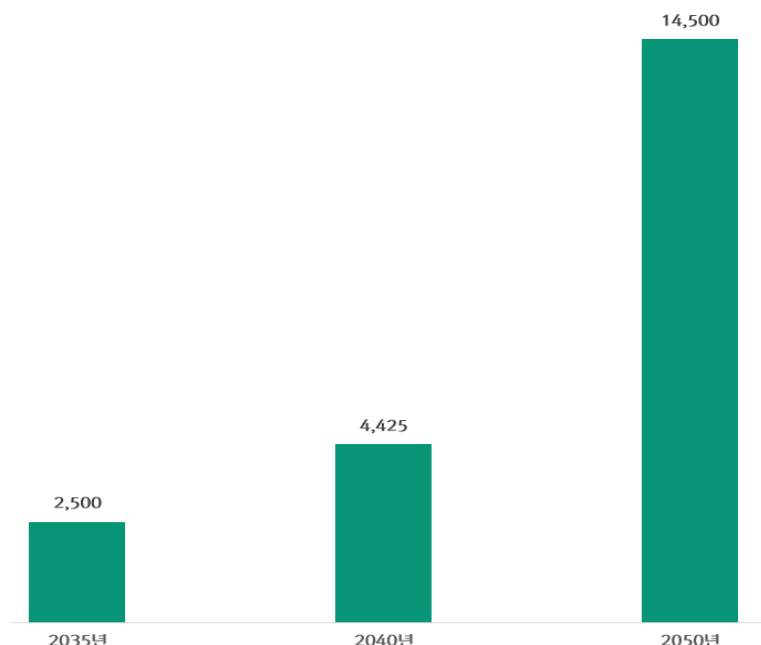
2022년 12월 31일 기준 남아공의 운전 중인 원전은 2기(1,854MW)이며 아프리카 유일의 원전인 쿠백(Koeberg) 원전 1·2호기임. 쿠백 원전은 프랑스 Framatome(현 Areva)가 건설한 것으로, 가압경수로(PWR) 2기는 각각 1984년과 1985년에 시운전을 진행함. 쿠백 원전은 2022년 1만 89GWh의 전력을 생산했고, 이는 남아공의 총 전력 생산량 중 4.9%임³⁵⁾³⁶⁾

남아공은 향후 새로운 대규모 원전 및 소형모듈원전(SMR, Small Modular Reactor)을 건설할 예정임. 현재 검토가 진행 중인 남아공 '통합자원계획 2019(Integrated Resources Plan 2019)'는 원전에 2,500MW의 신규 용량을 할당함. 2023년 12월 남아공 전력부 장관은 정전 사태를 해결하기 위해 2024년 3월까지 2,500MW 추가 발전량에 입찰 절차를 시작할 예정이라고 밝힘³⁷⁾

한편, 2023년 9월 한전KPS는 남아공 국영전력공사 에스콤(Eskom)과 발전소 정비공사 계약을 체결했다고 밝힘. 이에 따라 한전KPS는 에스콤이 소유한 화력 및 원자력 16개 발전소의 종합 설비점검과 분해 수리 공사를 2023년 10월부터 3년간 전담하기로 함³⁸⁾

[그래프] 남아공 원자력 발전용량 목표

(단위: MW)



출처: 남아공 광물자원에너지부(DMRE), Intergrated Resource Plan 2023

33) Tepco, Status of the Decommissioning Work

34) AP, At Fukushima Daiichi, decommissioning the nuclear plant is far more challenging than water release

35) IAEA CNPP - South Africa, 2023

36) World Nuclear Org, Nuclear Power in South Africa, 2023.08

37) Reuters, South Africa to seek bids for new nuclear power station, 2023.12.12

38) Business Korea, KEPCO KPS Secures Third Consecutive Contract in South Africa, 2023.09.18

원전해체 정책 현황

국제원자력기구(IAEA)의 IRRS(Integrated Regulatory Review Service) 보고서에 따르면, 남아공 정부는 아직 원전해체 정책과 전략을 개발하지 않아 남아공 정부에 원전해체 정책 및 전략 개발 승인을 권고함

1948년 남아공은 원자력법(Atomic Energy Act)에 따라 원자력위원회를 설립하였으며 이후 원자력위원회는 원자력공사(AEC)로 발전함. 1999년 원자력법에 따라 남아공 광물에너지부 장관이 원자력 생산, 방사성폐기물 관리, 남아공의 국제적 약속에 대한 책임을 지게 되었으며, 국가 완전 소유로 남아공원자력공사(Nesca)가 설립됨. 또한, 1999년 국가원자력규제법(National Nuclear Regulator Act)에 의거해 남아공 국가원자력규제당국(NNR)이 설립됨. 남아공 NNR은 원전의 부지 선정, 설계, 건설, 운영 및 해체를 담당함

일반적으로 해체 및 폐기물 관리를 위한 자금 조달은 오염자 부담 규정을 따름. 이 원칙에 따라 모든 원전 승인을 확보한 측이 해체 및 방사성폐기물 관리와 관련된 책임을 충족하기 위해 충분한 자원을 확보할 책임이 있음

남아공 NNR의 안전 기준 및 규제 관행은 원자력 시설 소유자가 시설에서 모든 규제 통제를 해제하기 위해 행정적, 기술적 조치를 취할 때 준수해야 하는 요구 사항을 담고 있음. 원자력 시설 보유자는 원전해체 전략 및 계획을 NNR에 제출해야 함. 따라서 원전 운영기업은 운영 중단 시점부터 책임 기간 종료까지 충분한 자원을 사용할 수 있음을 NNR에 입증해야 함

[그림] 남아공의 원전 건설 현황



출처: WNA

수명연장으로 2045년 이후 해체 예상되는 Koeberg 원전

남아공 쿠백(Koeberg) 원전 1호기의 수명은 2024년에서 2045년으로 2호기의 수명은 2025년에서 2047년으로 연장되어 2045년 이후 원전해체 작업이 시작될 것으로 예상됨. 2010년 남아공 국영전력공사 에스콤(Eskom) 이사회는 쿠백 원전의 수명을 20년 연장하기 위해 원전 개조에 200억 달러 지출을 승인하였으며, 2022년 3월 국제원자력기구(IAEA)는 장기가동 원전의 안전성 평가가 목적인 장기가동안전성평가(SALTO)를 수행했고 권고사안을 제안함

쿠백 원전은 당초 계획과는 달리 업그레이드를 거쳐 수명이 연장됨. 하지만 반원전 여론이 강해지거나 수익성의 하락 또는 심각한 기술적 문제가 발생할 경우 더 빨리 폐쇄될 가능성도 있음

IAEA로부터 인증을 받은 모든 원전은 최종 해체에 필요한 자금을 정기적으로 확보해야 하며 에스콤은 2016년까지 약 5억 7,744만 달러의 신탁 기금을 조성함. 그러나 금액이 충분하지 않아 원전이 폐쇄될 때까지 추가 자금을 조달해야 함. 에스콤은 현장 복구 비용을 지불해야 하지만 최종 폐기물 처리 비용은 국가가 부담함

쿠백 원전해체의 옵션은 ▲격납건물 내 원자로 시스템이 방사성을 방출할 경우 폐쇄 및 봉인하는 방안, ▲방사능 유출을 막기 위해 폐쇄한 후 콘크리트로 격납건물을 채우는 방안, ▲노심과 격납건물을 컨테이너에 넣고 폐기물, 사용후핵연료와 함께 매장한다는 전제 하에 발전소 건설 전의 모습 그대로 복구하는 방안, ▲방사성 물질을 제거한 후 다른 원전이나 기존 발전소로 사용하는 방안, ▲인프라를 갖추고 있으므로 산업단지로 사용하는 방안, ▲격납건물 내 모든 장비에서 방사성 물질을 제거한 후 건물을 다시 사용하는 방안 등이 있음³⁹⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾

[표] Koeberg 원전

구분	1호기	2호기	
모델	CP1 ⁴²⁾		
노형	가압수형원자로(PWR)		
발전용량	924MWe	930MWe	
착공일	1976년 7월	1976년 7월	
상업운전일	1984년 7월	1985년 11월	

쿠번 원전 1·2호기

쿠백 원전 1·2호기

출처: WNA

39) Why decommissioning South Africa's Koeberg nuclear plant won't be easy, 2018.01.25

40) Koeberg Alert Alliance, A National Nuclear Decommissioning Policy?, 2022.08.19

41) Eskom.co.za, Koeberg nuclear power station

42) 프랑스 Framatome社가 미국 Westinghouse社의 CP0 모델을 기준으로 표준화시킨 설계

4. 루마니아

원전 운영 현황

2022년 12월 31일 기준 루마니아의 운전 중인 원전은 2기(1,300MW)임. 루마니아의 원전 2기는 2022년 루마니아 전체 전력 생산량의 약 19.3%를 공급함

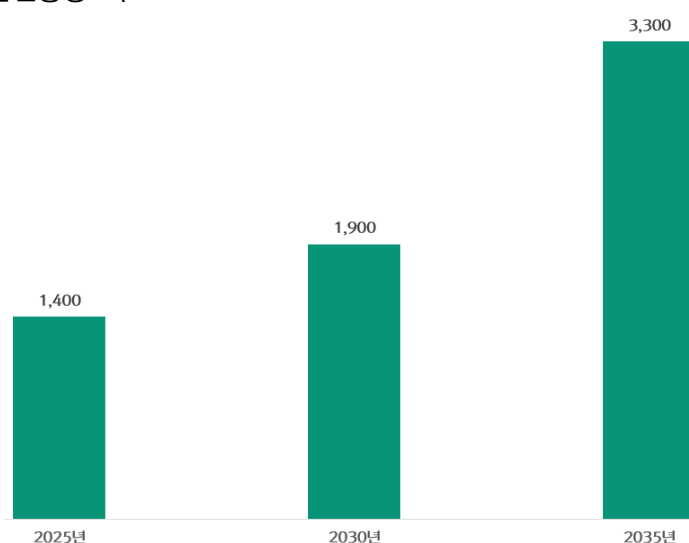
한편, 루마니아는 원전 건설을 확대할 계획임. 2022년 11월 루마니아 총리는 루마니아 남동부에 있는 체르나보다(Cernavoda) 원전에 2기의 신규 원전이 건설될 예정이라고 발표함. 이를 위해 루마니아 정부는 미국과 2건의 차관 계약을 체결함. 체르나보다 원전 3·4호기 건설과 관련 미국의 사전 설계에 최대 5,000만 달러를, 동 호기 완공을 위한 설계 및 프로젝트 관리 관련 최대 30억 달러의 자금을 조달할 예정임

2023년 6월 9일 루마니아 정부는 체르나보다 원전 3·4호기 건설을 위한 국가 전략 프로젝트를 개발하기 위해 루마니아 국영기업 Nuclearelectrica와 지원 계약을 체결함. 루마니아는 국가 보장 제공, 차액계약(CfD, Contract for Difference) 인센티브 제도 시행, 필요한 법률 채택, 송전선 설치 등을 추진하겠다고 약속함

2023년 6월 27일 한국수력원자력, 한전기술 등 한국 원전 기업들이 루마니아 원자력공사(SNN)가 발주한 2,500억원 규모의 체르나보다 원전 삼중수소제거설비(TRF, Tritium Removal Facility) 사업에 낙찰됨. 이번 계약에 따라 한수원은 체르나보다 원전에 중수에서 삼중수소를 추출하는 시설을 건설할 예정임. 2026년 8월 완공 예정으로, 2027년 상업 운전에 들어갈 예정임 43)44)45)46)47)

[그래프] 루마니아 원자력 발전용량 목표

(단위: MW)



출처: European Commission, Intergrated National Energy and Climate Plan of Romania 2021-2030

43) IAEA CNPP - Romania 2023

44) World Nuclear Org, Nuclear Power in Romania, 2023.11

45) Balkan Insight, Romania To Build Two New Nuclear Reactors with US Technology, 2022.11.10

46) Yonhap News Agency, (LEAD) S. Korea wins 260 bln-won deal to build nuclear power facility in Romania, 2023.06.27

47) Balkan Green Energy News, Romania pledges financial support for nuclear power projects Cernavodă 3, 4, 2023.06.09

원전해체 정책 현황

원자력 시설의 해체 계획은 루마니아 원자력규제위원회(CNCAN)의 승인을 받아야 함. 구체적으로 ‘안전한 도입, 원자력 활동의 규제/라이선싱/통제에 관한 법률 제111/1996⁴⁸⁾’에 의거해 사업자는 원전해체 프로그램을 준비하여 루마니아 CNCAN에 제출해야 하며, 원전해체를 위한 금융자원 구축을 위해 기여분을 지불해야 함

이 법령에 근거해 루마니아 CNCAN은 원자력 및 방사선 시설 해체를 위한 안전 요건에 관한 규제를 발표함. 최종 상태 기준, 사업자의 책임사항, 통합 관리 시스템, 안전 문화, CNCAN 보고 등에 관한 사항이 포함되며, 원전해체 전략, 원전해체 활동 계획, 운영에서 해체 단계로 이전, 해체 활동 수행 등의 요건을 정의함. 관련 규제에 따르면 원전해체 계획은 5년마다 수정되어야 함

원전해체 라이선스를 획득하려면 신청자는 자격을 갖춘 직원과 적절한 자원을 가용할 수 있음을 원전해체 계획에서 입증해야 함. 사업자는 통합관리시스템을 구축 및 시행하여야 하며, 해체 활동 수행 중 변화를 고려하여 통합관리시스템을 지속적으로 개선해야 함. 시설의 전체 수명주기 동안 사업자는 합리적인 기간 내에 검색 가능한 방식으로 관련 기록을 구축, 시행, 보관해야 함. 또한, 사업자는 해당 시설에서 발생해 저장되었거나 다른 허가 시설로 이전된 물질 및 폐기물의 수량, 유형, 특징, 관리 방법에 대한 최신 기록을 유지하는 시스템을 확립해 이를 시행 및 유지해야 함. 사업자는 설계 및 설계 변경에 대한 기록과 운영 이력에 대한 기록을 확인하고 해체 계획에 포함시켜야 함. 또 사업자는 해체 활동을 촉진하고 시설 기록을 유지하고 오염을 제한하며 폐기물 축적을 방지하기 위해 부지 선정, 설계, 건설, 시운전, 운영 및 시설의 주요 개조 시 해체를 고려해야 함⁴⁹⁾⁵⁰⁾

[표] 루마니아의 원전 건설 현황



출처: WNA

48) Law no. 111/1996 on the safe deployment, regulation, licensing and control of nuclear activities, republished with subsequent modifications and completions

49) IAEA, Romania – JOINT CONVENTION ON THE SAFETY OF SPENT FUEL ANAGEMENT AND ON THE SAFETY OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

50) IAEA CNPP – Romania

VVR-S 연구용 원자로 해체 프로젝트

40년 이상 운영된 VVR-S 연구용 원자로는 1997년 폐쇄된 후 사용후핵연료(C-36 및 EK 10)의 전체 재고가 원산지인 러시아로 반환되어 2010년부터 해체 작업이 시작됨. VVR-S 연구용 원자로의 해체는 루마니아 원자력규제위원회(CNCAN)가 라이선스 취소 인증서를 발행한 2020년 완료됨

VVR-S 연구용 원자로의 해체 활동 수행으로 인해 발생한 방사성폐기물 뿐만 아니라 루마니아 전역에서 수거된 비핵연료 주기 방사성폐기물은 IFIN-HH 방사성폐기물 관리부⁵¹⁾ 산하 방사성폐기물 처리장 STDR(Statia de Tratare a Deseurilor Radioactive) Magurele이 관리함. STDR Magurele은 방사성폐기물 저장 처리에 관한 허가를 받음. 중저준위단반감기폐기물(LILW-SL) 및 LILW-LL(Long Lived Waste)은 IFIN-HH가 관리하고 비연료 주기 방사성폐기물 처리 허가를 받은 표층처분시설인 DNDR Baita Bihor의 폐기물 허용 기준에 따라 처리됨

사용후핵연료 저장시설(DCNU, Depozitul de Combustibil Nuclear Uzat)은 STDR Magurele로 옮겨짐. 여기에는 알루미늄 함량과 활성 흑연을 함유한 12m³의 방사성폐기물과 VVR-S 연구용 원자로 해체로 인해 생성된 5개의 활성 흑연 디스크가 저장되어 있음. VVR-S 연구용 원자로의 건물은 ELI-NP(Extreme Light Infrastructure-Nuclear Physics) 시설에서 실험 영역을 확장할 수 있도록 재사용될 준비가 되어 있음

[표] VVR-S 연구용 원자로 정보

구분	내용
특징	2MW 열 발전소로, 증류수를 냉각재, 반사체, 감속기로 사용
핵연료 타입	EK-10 및 S-36, 일평균 9.52GW
가동기간	1957~1997, 무사고
영구폐쇄	2002년
원전해체 준비 활동	2003~2009년
사용후핵연료의 러시아 반환	S-36은 2009년, EK-10은 2012년
원전해체 프로젝트 기간	2010~2020년
선정된 해체 방식	즉시해체

출처: Indico - Decommissioning of the VVR-S Nuclear Research Reactor

51) IFIN-HH Radioactive Waste Management Department

예비해체 계획서 제출한 Cernavoda 원전

체르나보다(Cernavoda) 원전은 루마니아 원자력규제위원회(CNCAN)에 다음 문서를 제출함

- K-414716-00001 - SNN Cernavoda NPP 1&2호기 예비해체 계획서
- K-414716-00001 - SNN Cernavoda NPP 1&2호기 해체 비용 보고서

첫 번째 문서는 해체 전략 및 비용 추산 및 자금지원 메커니즘 등을 담고 있음. 루마니아 CNCAN 명령 제115/2017⁵²⁾과 CNCAN의 이전 예비 문건에 대한 의견 등을 고려해 체르나보다 원전 1호기와 2호기에 대한 해체 계획 및 비용 산정 보고서 업데이트 버전을 정교화하는 작업이 진행 중임

체르나보다 원전 예비해체 계획은 루마니아 에너지부 산하 핵연료 및 폐기물 처리와 사용에 관한 국가 정책 담당 기관인 ANDR⁵³⁾(The Nuclear Agency and for Radioactive Waste)의 정책을 준수함. 원전해체 전략은 즉시해체와 지연해체의 최적화된 조합으로 선택할 예정임

체르나보다 원전 1·2호기의 해체 비용은 원전 폐쇄, 폐기물 처리, 철거 및 부지 복원 등의 해체 활동을 고려하여 추정함. 루마니아는 원전 소유자가 원전해체 기부금을 납부하고 원전해체를 위한 재정 준비가 마련되어 있음을 증명해야 하며 연간 기부금의 금액은 루마니아 경제부가 제안하고 정부가 승인을 결정함⁵⁴⁾

[표] Cernavoda 원전

구분	1호기	2호기	
모델	CANDU 6		
노형	가압중수로(PWHR)		
발전용량	650MWe	650MWe	
착공일	1983년 3월	1990년 12월	
상업운전일	1996년 12월	2007년 10월	

체르나보다 워전 1호기

체르나보다 원전 1호기

출처: WNA

52) CNCAN Order No.115/2017: 원자력 및 방사선시설의 해체에 관한 안전 규정(Safety Regulation on decommissioning of nuclear and radiological installations)

53) AgenȚiei Nucleare Și pentru DeȘeuri Radioactive

54) CNCAN, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management The Fifth National Report

5. 네덜란드

원전 운영 현황

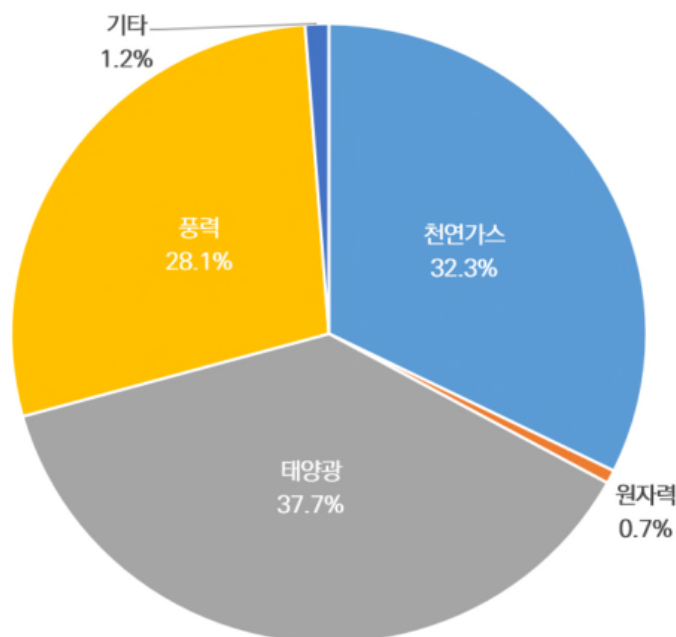
2022년 12월 31일 기준 네덜란드의 운전 중 원전은 1기, 영구정지 원전은 1기임

1995년 네덜란드 페텐(Petten)에 연구용 원자로 HFR(High Flux Reactor)이 착공 후 1961년 첫 임계치를 달성하면서 원자력 프로그램이 시작됨. 소형 프로토타입 Dedewaard 원전(60MWe)이 1968년에 가동에 들어갔고, 1973년 최초의 상업용 Borssele 원전(485MWe)이 생산을 시작함. 그러다 1986년 체르노빌 원전 사고가 발생하면서 원전 확대 계획이 보류됨. 대신 정부는 안전성에 대해 철저한 검토를 지시했고, Borssele 원전은 운영을 재개하기로 결정한 반면, Dodewaard 원전은 1997년 영구 폐쇄됨

2005년 Dodewaard 원전의 마지막 핵분열성 물질이 제거되었고, 원전 일부가 철거됨. 주요 부분은 현재 밀봉되어 있으며 2045년까지 세이프스터(safestor: 핵연료 제거 후 피동적인 상태를 의미) 상태로 모니터링되고 있으며 이후 철거될 예정임

네덜란드 에너지 믹스에서 원자력이 차지하는 비중은 작지만 꾸준히 역할을 하고 있음. 2020년 네덜란드의 유일한 원전인 Borssele 원전은 약 4TWh(e)의 전력을 생산해 네덜란드 전체 전력 생산량의 약 3%를 제공함⁵⁵⁾⁵⁶⁾

[표] 네덜란드의 2030년 에너지 믹스 목표



출처: 네덜란드 환경평가청(PBL) - Klimaat- en Energieverkenning 2021

55) IAEA CNPP - Netherlands 2022

56) World Nuclear Org, Nuclear Power in the Netherlands, 2023.06

Dodewaard 원전해체 프로젝트

2011년 4월부터 시행된 법률에 따르면 원자력 시설은 폐쇄 후 즉시해체해야 하며 2005년 폐쇄된 Dodewaard 원전은 예외임. Dodewaard 원전은 28년간 가동된 후 1997년 폐쇄됐으며 현재 원전해체를 진행 중인 네덜란드의 유일한 원전임. Dodewaard 원전 운영사인 GKN는 2002년 5월 원전 안전밀폐 허가를 받았고 2005년 7월 안전밀폐의 단계를 완수하였으며 안전밀폐 기간은 40년간 지속될 예정임. 안전밀폐 단계 허가 신청 시 사업자는 모든 방사능 보호 이슈를 담당하는 방사능 전문가를 지정해야 함

Dodewaard 원전의 경우 해체 비용은 NIS Ingenieursgesellschaft⁵⁷⁾가 개발한 비용 평가 시스템인 STILLKO 2⁵⁸⁾에 따라 산정됨. 이 프로그램이 국제적으로 인정받고 널리 적용되는 방법이지만, 실제 원전해체 경험을 통한 피드백도 반영되어야 한다는 의견도 있음. 네덜란드 방사성폐기물 중앙기구(COVRA)가 Dodewaard 원전해체를 담당할 것으로 예상되며 COVRA는 신뢰할 수 있는 비용 추산에 관심을 갖고 있음. COVRA는 실제 데이터로 표준 비용 산정 방법을 사용한 추가 연구를 수행 중이며, 두 산정 방식에 상당한 차이가 있어 추가 조사를 검토 중임⁵⁹⁾

[표] Dodewaard 원전

구분	내용	
모델	GE design	
노형	비등수형 원자로(BWR)	
발전용량	55MWe	
착공일	1965년 5월	
상업운전일	1969년 3월	
영구정지일	1997년 3월	

출처: WNA

57) 원전해체 비용을 계산하는 STILLKO 등의 시스템을 개발하여 평가하는 기업

58) 해체 작업 종사자 및 해체 장비, 해체 작업 시간 등을 단위 해체 공정마다 분석하고 해체 비용 등을 계산하는 소프트웨어 프로그램

59) OECD-NEA.org, Radioactive Waste Management and Decommissioning in the Netherlands

6. 영국

원전해체 현황

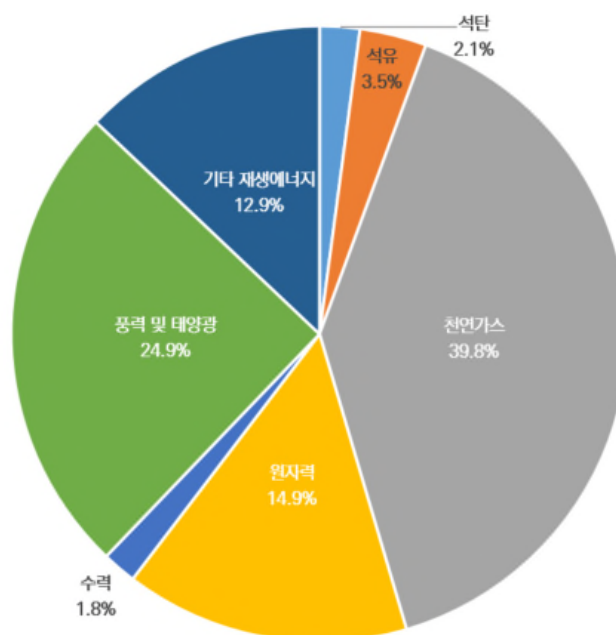
2022년 12월 31일 기준 영국의 운전 중 원전은 9기(5,883MW), 건설 중 원전은 2기(3,260MW), 영구정지 원전은 36기(7,735MW)이며 해체 진행 중 원전은 26기임

영국은 예전부터 원자력 시설을 보유해 왔으며 초기부터 원전해체 프로그램을 수행해 옴. 영국은 원전해체 전략으로 자연해체를 선택했으며 26기의 원전해체 활동이 수행되고 있어 원전해체 산업이 활발한 국가임

영국의 저준위 폐기물(LLW⁶⁰⁾)은 1959년부터 운영되어 온 영국 셀라필드(Sellafield) 인근 컴브리아(Cumbria)의 드리그(Drigg)에 위치한 LLW 저장소에서 처리되며, 영국 폐기물 관리기업 LLWR(Low Level Waste Repository Ltd)에 의해 관리됨. 중준위 폐기물은 셀라필드 및 다른 부지에 저장되어 폐기됨. 1982년까지는 일부 중·저준위 폐기물이 심해 부지에 처분되었으나, 1993년 폐기물의 해양 투기가 금지되었고, 영국 정부를 이를 수용함

영국은 6.5GW의 원자력 발전량으로 전력의 15%를 생산함. 영국 정부는 2050년까지 전력 생산에서 원자력의 비중을 25%로 높이기 위해 신규 원자력 발전용량 최대 24GW를 목표로 하고 있음⁶¹⁾⁶²⁾

[표] 영국의 에너지 믹스(2021년)



출처: IAEA

60) Low Level Waste

61) IAEA CNPP – United Kingdom 2022

62) World Nuclear Org, Nuclear Power in the United Kingdom, 2024.02

원전해체 정책 현황

영국의 원전해체 정책은 1995년 7월 발표된 ‘Review of Radioactive Waste Management Policy Final conclusions’을 통해서 업데이트되고 있음. 이 정책은 영국의 기존 및 신규 원자력 산업 시설과 부지를 모두 포괄하며, 1965년 원자력시설법(Nuclear Installations Act)에 따라 허가를 받은 발전소, 다른 원자로, 연구 시설, 연료 제조 및 처리 공장, 부지 내 연구소 등이 포함됨

2005년 영국 원자력해체청(NDA, Nuclear Decommissioning Authority)이 설립되어, 안전하고 경제적이며 사람과 환경을 보호할 수 있는 방식으로 원전해체가 수행될 수 있도록 하는 업무를 맡고 있음. NDA는 에너지안보탄소중립부(DESNZ)의 후원과 자금을 지원받고 있으며, 잉글랜드, 웨일스, 스코틀랜드 전역의 17개 부지를 담당함. 현 계획에 따르면 핵심 업무인 원자력 정화 및 폐기물 관리를 완료하려면 100년 이상이 걸릴 예정임. 목표는 2130년대까지 모든 부지의 최종 상태를 달성하는 것으로, 스코틀랜드 부지의 모든 토지는 2333년까지 지정 해체될 것으로 예상됨

운전정지된 원전해체는 원전 운영기업이 해체 전략을 수립해야 하며 미래의 운전, 운전정지 및 해체에 관련된 프로그램이 포함되어야 함. 또한, 영국의 방사성폐기물 관리 정책을 고려해야 하며, 여기에는 방사성폐기물의 장기적인 처분 방식을 결정하기 위한 MRWS(Managing Radioactive Waste Safely) 프로그램뿐만 아니라 규제당국과 NDA가 즉각적인 폐기물 처리 및 관리에 대해 합의한 접근방식도 포함되어야 함

또한, 2008년 에너지법(Energy Act)에 따라 원전 운영기업은 신규 원전 건설 착공 허용 전 해체재정보증 프로그램(FDP, Funded Decommissioning Programme)을 제출해야 함. FDP는 원전해체, 폐기물 관리 및 처분에 대한 세부적인 계획과 비용 등을 포함함. 정부는 중준위 폐기물과 사용후연료 처리를 위한 고정 단가를 책정하게 되는데, 여기에는 상당한 리스크 프리미엄이 포함되고 물가 상승에 따라 인상됨. 사업자는 원전 운영 중 점진적으로 안전하고 독립적인 자금을 확보해야 하며 폐기물의 소유권은 FDP에 따라 합의된 일정에 따라 정부로 이전됨

[그래프] 영국 해체 전략별 원전 수 (단위: 기)



출처: IAEA

참고문헌

- IAEA, CNPP- Global Status and Development of Nuclear Power Programmes
- IAEA, Nuclear Power Reactors in the World
- IAEA, IAEA Releases 2019 Data on Nuclear Power Plants Operating Experience
- IAEA, Nuclear Decommissioning Market Set to Boom
- Yahoo, Global Nuclear Decommissioning Services Business Research Report 2023-2030: Europe and United States Prime for Growth of Nuclear Decommissioning Service Market, 2023.10.24
- PR Newswire, Global Nuclear Decommissioning Services Market to Reach \$7.5 Billion by 2026, 2022.05.22
- Zion Market Research, Nuclear Decommissioning Services Industry Prospective
- IAEA, United States of America, 2023
- World Nuclear Org, Nuclear Power in the USA, 2024.01
- NRC, Sites Undergoing Decommissioning (by Location or Name)
- NRC, Decommissioning of Nuclear Facilities
- NRC, Decommissioning Regulations
- NRC, Decommissioning Guidance
- NRC, Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants
- NEI, Decommissioning Nuclear Power Plants
- Oregon.Gov, Trojan Nuclear Plant
- NRC, PGE-1061, Trojan Nuclear Plant Decommissioning Plan & License Termination Plan
- TrojanDown.org, History of the Trojan Nuclear Power Plant
- IAEA CNPP, Japan 2023
- World Nuclear Org, Nuclear Power in Japan, 2024.01
- NRA Japan, Present States of Operation
- McKinsey & Company, Decommissioning and dismantling Japan's nuclear power plants, 2020.09.08
- Mordor Intelligence, Japan Nuclear Power Reactor Decommissioning Market Size Source
- IMARC, Japan Nuclear Power Reactor Decommissioning Market Report by Reactor Type (Pressurized Water Reactor, Pressurized Heavy Water Reactor, Boiling Water Reactor, High-temperature Gas-cooled Reactor, Liquid Metal Fast Breeder Reactor, and Others), Application (Commercial Power Reactor, Prototype Power Reactor, Research Reactor), Capacity (Below 100 MW, 100-1000 MW, Above 1000 MW), and Region 2024-2032
- Tepco, Status of the Decommissioning Work
- AP, At Fukushima Daiichi, decommissioning the nuclear plant is far more challenging than water release
- IAEA CNPP - South Africa, 2023
- World Nuclear Org, Nuclear Power in South Africa, 2023.08
- Our World in Data, South Africa: Energy Country Profile
- Reuters, South Africa to seek bids for new nuclear power station, 2023.12.12
- Business Korea, KEPCO KPS Secures Third Consecutive Contract in South Africa, 2023.09.18
- Energy.gov.za, Discussion Paper on National Decommissioning Policy for Nuclear Facilities, 2020.07.20
- National Nuclear Regulator, Regulatory Framework
- IAEA CNPP - South Africa, 2021
- The Conversation, Why decommissioning South Africa's Koeberg nuclear plant won't be easy, 2018.01.25
- Koeberg Alert Alliance, A National Nuclear Decommissioning Policy?, 2020.08.19
- Eskom.co.za, Koeberg nuclear power station
- IAEA CNPP - Romania 2023
- World Nuclear Org, Nuclear Power in Romania, 2023.11
- European Commission, Romania Energy Snapshot
- Balkan Insight, Romania To Build Two New Nuclear Reactors with US Technology, 2022.11.10
- Yonhap News Agency, (LEAD) S. Korea wins 260 bln-won deal to build nuclear power facility in Romania, 2023.06.27
- Balkan Green Energy News, Romania pledges financial support for nuclear power projects Cernavodă 3, 4, 2023.06.09.
- IAEA, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management And on the Safety of Radioactive Waste Management
- IAEA CNPP - Romania (2021)
- IAEA CNPP - Netherlands 2022
- European Commission, Netherlands Energy Snapshot
- World Nuclear Org, Nuclear Power in the Netherlands, 2023.06
- IAEA CNPP - United Kingdom 2022
- World Nuclear Org, Nuclear Power in the United Kingdom, 2024.02
- GOV.UK, The Decommissioning of the UK Nuclear Industry's Facilities
- Gov.UK, Nuclear Decommissioning Authority: Business Plan 2023 to 2026
- Gov.UK, UK Energy in Brief 2022



(우)05718 서울특별시 송파구 중대로 109, 대동빌딩 6층, 한국원전수출산업협회
Tel: 02-6284-8735 Fax: 02-3416-3951 www.e-kna.org

한국원전수출산업협회

KNA