2024 March

글로벌 원전 시장 보고서

Nuclear Power Plant Expert Training Policies in Major Countries

주요국 원전 전문인력 양성정책
(미국, 러시아, 중국, 일본, 프랑스)

원전수출정보시스템
(K-neiss)

한국원전수출산업협회 KNA

CONTENTS

Ⅰ. 원자력 전문인력 양성정책 개요 03
1. 주요국 원자력 발전 동향
2. 원자력 전문인력 양성의 필요성
3. 한국 원자력 전문인력 양성정책 및 현황

Ⅱ. 미국 원자력 산업 및 양성정책 10
1. 미국 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 연방정부의 양성 프로그램
3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

Ⅲ. 러시아 원자력 산업 및 양성정책 15
1. 러시아 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 정부 주도 인재 양성 프로그램
3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

Ⅳ. 중국 원자력 산업 및 양성정책 19
1. 중국 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 정부 주도 인재 양성 프로그램
3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정
4. 산업계의 원자력 인재 양성 프로그램

Ⅴ. 일본 원자력 산업 및 양성정책 24
1. 일본 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 정부 주도 인재 양성 프로그램
3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

Ⅵ. 프랑스 원자력 산업 및 양성정책 28
1. 프랑스 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 정부 주도 인재 양성 프로그램
3. 민간 및 산업계의 양성 프로그램
4. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

※ 참고문헌 33

Ⅰ. 원자력 전문인력 양성정책 개요

I

1. 주요국 원자력 발전 동향

2023년 기준, 세계적으로 422기 원자로 가동 중

전 세계 33개국에서 422기의 원자로가 가동되고 있으며, 총 설비용량은 378.3GW임

2023년 1월 기준, 전 세계 33개 국가에서 422기의 원자로가 운영되고 있으며, 총 설비용량은 378.3GW임. 권역별로는 유럽 170기, 아시아 128기, 북미 111기, 중남미 7기, 중동 4기, 아프리카 2기 순임

국가별로는 미국이 93기로 가장 많았으며, 프랑스가 56기, 중국이 55기, 러시아가 37기, 한국이 26기로 뒤를 잇는 것으로 조사됨

[표] 전세계 원자로 가동 현황

구분	기수	설비용량(MW)	국가수
운전중	413	371,510	33개국
건설중	58	59,867	17개국
계획중	114	112,277	18개국
영구정지	209	105,095	21개국

출처 : IAEA Power Reactor Information System, 2024.02.04

[표] 주요국 및 한국 운영 현황(운전 기수 순)

국가명	운전	정지	건설	계획
미국	93	41	1	3
프랑스	56	14	1	-
중국	55	-	26	42
러시아	37	10	3	25
대한민국	26	2	2	2
일본	12	27	2	1

출처 : IAEA Power Reactor Information System, 2024.02.04.
WNA, World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements. 2024.01

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

COP28에서 한국을 포함한 22개국이 원전 용량 3배 확대 선언

2023년 12월, 제28회 유엔기후변화협약 당사국총회(이하 COP28)에서 우리나라를 비롯한 세계 22개 국가가 2050년까지 원자력 발전 용량을 3배 확대하고자 하는 'Declaration to Triple Nuclear Energy Capacity' 선언에 동참했음. 선언문에서는 2050년까지 탄소중립을 달성하고, 지구 평균 기온 1.5℃ 상승 억제를 위해 원자력 에너지가 어떤 역할을 해야 하는지 강조되었음

이번 이니셔티브에 참여하는 국가는 우리나라를 포함하여 미국, 영국, 일본, 캐나다, 프랑스, 네덜란드, 스웨덴, 체코, 핀란드, 불가리아, 헝가리, 폴란드, 루마니아, 우크라이나, 슬로바키아, 슬로베니아, UAE, 가나, 몰도바, 모로코, 몽골 등임

상기 참여국은 전력 발전용 소형 모듈형 원자로 개발뿐만 아니라 수소나 합성연료 생산 등과 같이 탈탄소화를 위해 산업 부문에서 원자력을 더욱 광범위하게 활용할 수 있도록 원자로 개발 및 원전 건설을 지원할 계획이라고 발표함

프랑스 마크롱 대통령과 스웨덴 크리스테르손 총리 등 각국 세계 정상은 세계은행과 국제 금융기관에 원자력 프로젝트에 자금 조달을 도울 것을 촉구하였음. 또한 미국을 비롯한 주요 5개국은 안전하고 신뢰할 수 있는 국제 원자력 에너지 공급망 구축을 위해 42억 달러 규모의 투자 계획을 발표하였음[1)2)]

[그림] 원전 용량 3배 확대를 선언하는 22개국 관계자들

1) 연합뉴스 보도, 2023.12.02.
2) 그리니움 보도, 2023.12.06

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

2. 원자력 전문인력 양성의 필요성

미국, 프랑스 등 주요 서방국, 원전 전문인력 수급에 난항

월스트리트저널에 따르면 미국, 영국, 프랑스 등 서방 국가들이 에너지 대란 위기와 기후 변화 문제에 대응하기 위해 원전 비율을 대폭 늘리고 있으며, 새로운 원전 개발 및 운영을 위해 실무 인력 육성에 나서고 있는 것으로 파악됨. 현재 서방 국가들은 수십 년간 원전 개발이 중단돼 현장 경험을 갖춘 인력과 기술이 모두 부족한 어려움을 겪고 있음

원자로 총 56기를 운영하는 세계 둘째 '원전 대국' 프랑스는 노르망디 해안의 플라망빌 원전에 차세대 유럽형 가압 경수로(EPR)를 짓고 있으나 완공이 계속해서 지연되고 있음. 프랑스 전력공사(EDF社)는 2007년 원자로 건설을 착수하여 2012년 완공을 목표로 했으나 10년이 지난 현재까지도 용접 기술자들이 7년 전 원자로 냉각 시스템 주변에서 발견된 하자 110건을 고치고 있으며, 용접로봇까지 동원되고 있는 실태임. 이런 상황에 따라 2023년 1월 EDF社는 플라망빌 원자로의 핵연료 장전 시기를 당초 일정보다 10년 이상 지연된 2024년 초까지 연기했으며, 그 과정에서 당초 33억 유로로 책정된 예산은 127억 유로가 되어 4배 가까이 증가함. 이에 더해 프랑스 원자로 12기는 부식 검사와 수리를 위해 최소 수개월에서 수년간 작동을 멈춘 상태이며, 16기는 점검 및 개조 목적으로 운영이 중단됨[3)]

[그림] 프랑스 플라망빌 원전의 차세대 유럽형 가압 경수로(EPR) 건설 현장

출처 : Reuters

3) 조선일보 보도, 2023.12.27

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

미국 보글 원전, 인력 부족으로 가동 지연

미국은 1979년 스리마일섬 원전 사고 이후 30년 이상 신규 원전 도입이 중단되었으며, 70여 개에 달하던 원전 건설 계획도 모두 취소됨. 이 때문에 원전 건설 관련 산업이 크게 위축되었으며, 원전 전문인력 배출 또한 저조해짐. 미국도 원전 관련 인력 수급에 어려움을 겪고 있는 상황으로 알려짐

2023년 8월 가동되기 시작한 조지아주의 보글 원자로 3호기도 부품 산업 붕괴, 예산 초과, 공기 지연 등으로 완공되기까지 큰 어려움을 겪었음. 현재 건설 중인 보글 4호기 또한 2018년 상업운전 예정이었으나 건설 비용이 80억 달러에서 250억 달러로 증가하여 공사가 지연됐고, 결국 2024년 상반기로 가동이 지연됨. 보글 3, 4호기 사업에 있어 가장 어려웠던 점은, 원전 건설 사업에 참여할 수 있는 자격 요건을 갖춘 인력을 확보하는 것으로 알려졌음. 보글 원전 건설사업에서 배관, 판금, 공조설비 등의 분야에 참여한 펜실베니아의 기계설비업체 'SSM Industries'는 170여 명의 전문인력을 투입했으며, 프로젝트에 참여한 총 전문인력은 5,500명에 이르는 것으로 알려졌음[4)5)]

각국의 원전 인력 육성 프로그램

영국은 2022년 4월 Somerset에 위치한 힝클리포인트C 원전 건설을 위해 브리짓워터&톤턴대학(Bridgwater and Taunton College)캠퍼스 내에 용접 훈련 센터(Welding Center of Excellence)를 개설함. 원전 뉴스 매체 World Nuclear News(WNN)는 "원전 개발에 필요한 인력을 공급하기 위한 것으로 매년 원전 전문 용접공 500명이 배출돼 작업에 곧바로 투입될 것"이라고 함. 월스트리트저널은 "프랑스도 원전 개발을 위한 엄격한 요구 조건을 맞출 수 있는 현장 인력 수천 명에 대한 (국가 차원의) 원자력 엔지니어링 교육과 건설 표준 및 요구사항 준수 훈련을 시작했다"고 보도함. 마이크로소프트 창업자 빌 게이츠가 설립한 미 원자로 기업 테라파워社 관계자는 "용접과 건설 등 원자로 건설을 위한 기술자를 육성하는 데엔 특별한 교육이 필요하다. 숙련된 기술자가 부족한 것이 원자력 업계의 가장 큰 과제"라고 언급함[6)7)8)]

[그림] 공사가 진행 중인 보글 3호기(왼쪽)와 4호기

출처 : 기계설비신문

4) 기계설비신문 보도, 2021.05.03.
5) 동아일보 보도, 2023.08.01
6) 조선일보 보도, 2023.12.27
7) 월드뉴클리어뉴스 보도, 2022.05.03
8) 월스트리트저널 보도, 2022.06.23

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

3. 한국 원자력 전문인력 양성정책 및 현황

한국연구재단의 원자력안전연구전문인력양성사업

항목	내용
개요	원자력안전기술, 원전 해체기술, 핵연료주기 요소기술 등 원자력 안전분야 현안해결 및 기술개발 수요에 대응하는 차세대 안전연구 전문인력 양성을 목적으로 함
현장 맞춤형 전문인력 양성	**원자력안전분야 학·연·산 연계 교육훈련/실습 프로그램 운영을 통해 현장 맞춤형 전문인력 양성·공급 추진** - 실습시설 및 장비를 보유한 기업의 교육과정 개발·운영 지원을 통한 현장맞춤형 실무형 인재양성 지원 - 원자력 연구개발 실험장비 활용, 학점취득형 이론-실습 매칭을 통한 실무·연구역량 강화 - 원자력 안전 R&D 분야 기초이론-연구활동-현장실습 중심의 유기적 협력체계 구축을 통한 실무형 전문인력 양성 지원
원자력 융합 기술 특성화	**원자력안전분야에서 원자력과 비원자력간 융합연구를 활성화하고 안전연구 전문인력 육성을 위한 융합기술 특성화 프로그램 운영** - 원자력 분야 비전공자의 원자력전공화(nuclearizing)대학원 과정 운영을 통해 원자력 안전 분야의 전문인력 육성 - 원자력 전공자 대상의 인접/이종 학문분야 연계·통합 교육과정 운영으로 원자력 안전기술 혁신과 기존 R&D 한계 극복을 위한 융합연구 활성화
원자력 인재자원관리	**원자력 전문인력 세대교체, 지식관리 등 인력양성 정책현안 대응을 위한 전문인력 관리체계 구축·운영** - 원자력 전문인력 현황조사 및 인력수급 전망통계 등 대응관리체계 구축 - 해외사례 반영한 학·연·산 교육협의체 운영 및 협력 프로그램 개발 - 원자력 안전연구 분야 교육과정 개발 및 프로그램 총괄 운영·관리
원자력 글로벌 R&D 연구자 양성	**원자력안전연구 혁신을 선도하기 위한 글로벌 연구역량 및 협력기반을 갖춘 차세대 및 고급 R&D 리더 양성** - 원자력안전 R&D 전략분야와 부합하는 원자력 관련 국제기구 및 해외 정부기관 파견 지원 - 국내에서 실험·실습이 어려운 원자력 안전 R&D를 위한 해외 연구활동, 실험실습 교육과정 공동개발 및 운영 - 선진기술 습득을 위해 고급 연구인력을 대상으로 국제기구/해외 선진연구소 파견 및 공동연구 지원
원자력 인력 양성 Power-up	**원자력기술 수출 경쟁력 강화를 위해 원자력안전분야의 국제 교육훈련 프로그램 개발·운영 및 인력양성 관련 국제행사 국내 개최** - 원자력기술 개발협력 수요대응을 위한 국제 원자력 교육훈련 프로그램(과정 모듈화) 개발, 기술 컨설팅 및 인력교류 활성화 지원 - 국제기구 및 주요 선진국과 공동 연계, 인력양성 관련 국제 학술행사 및 국제 교육과정 운영 지원

출처 : 한국연구재단, 원자력안전연구전문인력양성사업

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

한국수력원자력, 중소·중견기업 재직자를 원전산업 전문인력으로 양성

2023년 8월 7일, 한국수력원자력(이하 한수원)이 원전산업 전문인력 양성에 나선다고 발표함. 한수원은 더욱 경쟁력 있는 원전 생태계를 조성하기 위해 원전 중소·중견기업 재직자를 대상으로 한국전력국제원자력대학원대학교(KEPCO International Nuclear Graduate School, 이하 KINGS)의 2년제 정규과정인 '원자력산업학'과 '에너지정책학' 등록금을 전액 지원하기로 함

지원대상은 총 4명이며, 한수원은 중소기업의 인건비 부담 경감을 위해 전일제 교육기간 중에 발생하는 급여를 월 최대 200만 원까지 지원할 예정임

KINGS는 한국전력공사 산하의 사립 대학원대학으로 한국수력원자력, 한국전력공사, 한국전력기술, 한전원자력연료, 한전KPS 등 5대 원전 공기업이 공동출연하여, 전력 및 원자력산업분야에 실무인력을 양성하고, 글로벌 인적 네트워크를 구축하여 원전수출 기반을 조성하기 위해 설립되었음. 학교는 한수원 새울 원자력 본부 단지 내에 위치해 있으며, 2017년에 기타공공기관으로 지정된 바 있음

[그림] 한수원 원전산업 전문인력 교육 모집요강

출처 : 한국수력원자력 보도자료

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

Ⅱ. 미국 원자력 산업 및 양성정책

1. 미국 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 연방정부의 양성 프로그램
3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

Ⅱ

1. 미국 원전 산업 현황 및 발전 방향

미국, 54개 원전에서 93기 원자로 가동 중

2023년 8월 기준, 93개 원자로 가동되어 세계 1위 차지

2023년 8월 1일 기준, 미국은 28개 주에 위치한 54개의 원전에서 총 93개 원자로를 가동하고 있으며, 이는 세계에서 가장 많은 원자로를 보유한 국가로 나타남. 발전용량 기준으로도 미국은 2021년 기준 1년간 7,780억 kWh의 전기를 생산하며 전 세계 원자력 발전의 30% 이상을 차지하는 것으로 조사됨

미국의 주요 원자력 발전 지역

미국의 상업용 원자력 발전소는 1958년 처음 설립되었으며, 대부분 동부 및 중부에 위치함. 일리노이는 가장 많은 원자로(6개 발전소, 11기 원자로)를 보유한 주이며, 다음으로 펜실베이니아, 사우스캐롤라이나, 앨라배마, 노스캐롤라이나가 뒤를 이음. 원전의 규모별로 다르지만, 평균적으로 원자로 1기당 500여 명의 직원이 필요한 것으로 조사되었음

[표] 미국의 주요 원전 가동 주

주	원자로(기)	연간 생산 전력(TWh)	고용자(명)
일리노이	11	98.7	5,400
펜실베이니아	9	83.0	4,500
사우스캐롤라이나	7	56.0	2,800
앨라배마	5	43.6	2,750
노스캐롤라이나	5	41.9	2,600
뉴욕	4	44.8	3,350
텍사스	4	41.0	2,200
테네시	4	35.7	2,400
조지아	4	33.6	2,200
미시간	4	32.9	3,100
플로리다	4	29.1	1,800

출처 : 에너지정책 소통센터, 2022

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

2. 연방정부 및 주별 프로그램

미국 에너지부(Department of Energy)의 'Early Career Research Program'

원자력 연구자 대상 정부지원금 제공

미국 에너지부 원자력실은 '초기 경력 연구 프로그램(Early Career Research Program)'을 시행하며 8개 원자력 기술분야에 대해 정부지원금을 제공하고 있음. 해당 프로그램은 2010년에 시작되어 1~3년마다 연구자를 선정해 상을 수여하고, 연구자금을 지원해왔으며, 2023년까지 동 프로그램을 통해 868명의 연구자가 연구 자금을 지원받았음. 연구자금 지원 외에도 다양한 혜택이 주어지는데, 연구자들은 관련 분야의 전문가 네트워크에 소속되어 상호간 학문적 발전 및 커리어 구축에 도움을 받을 수 있음. 해당 프로그램에는 연구 결과의 발표 및 출판에 대한 각종 지원도 포함되어 있음

선발 자격은 박사학위를 취득한 지 10년 이내의 미국 학술기관의 조교수 또는 부교수, 에너지부 산하 국립연구소의 정규직 연구원이어야 하며, 하기 8개 주제에 관해 연구 경력이 있어야 함. 코로나19로 인한 연구 지연이 있었을 경우, 선발 자격이 10년에서 12년으로 연장됨

2023년 8월, 미국 에너지부는 8개 주요 원자력 기술분야 연구자 93명을 선발하여 총 1억 3,500만 달러의 연구자금을 지원할 것이라고 발표함. 선정된 연구자들은 최대 5년의 연구기간 동안 약 275만 달러 수준의 연구비를 지원받게 되며, 실험장비 구입, 연구자 및 대학원생 임금 등 다양한 용도로 사용가능하여 연구 프로젝트가 원활히 진행될 수 있도록 함[9)]

[표] Early Career Research Program 선정 대상인 8개 연구주제

순번	내용
1	가속기 연구개발 및 생산(Accelerator R&D and Production)
2	핵 물리학(Nuclear Physics)
3	핵융합에너지과학(Fusion Energy Sciences)
4	기초에너지과학(Basic Energy Sciences)
5	동위원소 연구개발 및 생산(Isotope R&D and Production)
6	고에너지 물리학(High Energy Physics)
7	첨단과학컴퓨팅연구(Advanced Scientific Computing Research)
8	생물학 및 환경 연구(Biological and Environmental Research)

출처 : 미국 에너지부 원자력실, 보도자료 재가공

9) 미국 에너지부 원자력실 보도자료, 2023.08.04

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

미국 에너지부(Department of Energy)의 'Nuclear Energy University Program'

에너지부, NEUP 통해 연구기금 및 장학금 지급

미국 에너지부 원자력실이 주관하는 'Nuclear Energy University Program(이하 NEUP)'은 원자력 에너지 분야의 미래 인재 양성을 목표로 하는 교육 지원 프로그램임. 이 프로그램은 대학 및 대학원 수준의 학생들과 교수진에게 연구 기금 및 장학금을 제공함으로써 원자력 에너지 연구와 교육을 활성화시키는 것을 목표로 함. NEUP는 매년 수십 명의 학생과 교수진을 선발하여 재정적 지원을 제공하며, 이를 통해 원자력 에너지 분야의 연구 및 기술개발을 강화함. 2023년 원자력사무국은 원자력 관련 학위를 취득하는 학생들을 대상으로 24-25학년도의 수업료, 등록금 및 기타 추가 비용에 대해 1인당 10,000달러의 장학금을 제공하며, 대학원 펠로우쉽 프로그램은 3년에 걸쳐 169,000달러를 제공할 계획이라고 발표함. NEUP 프로그램에 참여하는 대학은 22개 주의 43개 대학이며, 지원 자금은 매년 4,120만 달러에 이르는 것으로 나타남

선발 기준으로는 학업 성취도, 연구 계획의 혁신성 및 타당성, 그리고 원자력 에너지 분야에 대한 발전 및 적용 가능성 등이 고려됨. 지원받는 학생과 교수진은 연구비, 장비 구매, 실험실 개선, 교육 자료 개발 등 다양한 목적으로 지원금을 활용할 수 있으며, 이를 통해 학문적 성장과 전문성 발전을 도모할 수 있음. 또한, 동 프로그램은 참여자들에게 원자력 에너지 분야의 전문가 네트워크에 접근할 기회를 제공하고, 국가적 차원에서 중요한 에너지 문제에 대한 해결책을 모색하는 데 기여할 수 있는 플랫폼을 마련해줌.

NEUP, 미국 24개 대학에 교육용 원자로 운영 지원

NEUP는 미국 내 대학에서 운용되는 연구용 원자로를 여러 방면에서 지원함. 이 프로그램의 주요 목표는 대학 연구용 원자로의 운용 및 유지 관리를 강화하고, 원자력 에너지 분야의 교육 및 연구를 촉진하는 데 있음. NEUP의 지원을 받는 대학은 총 24개 대학교(25개 원자로)로 조사되었으며, NEUP홈페이지에서 목록을 확인할 수 있음

NEUP에 의해 제공되는 재정 지원은 원자로의 운영비, 유지보수 비용, 업그레이드 비용 등에 사용될 수 있음. 또한, 대학 연구용 원자로를 활용하여 수행되는 다양한 원자력 관련 연구 프로젝트에 대한 자금 지원이 이루어지며, 이는 신규 연구뿐만 아니라 기존 연구의 확장 및 발전에도 중요한 역할을 함. 원자력 관련 과학 및 공학 분야의 학생들과 연구자들을 위한 교육 및 훈련 프로그램도 지원되어, 학생들이 실제 연구용 원자로를 사용한 실습 경험을 통해 전문인력으로 성장하는 데 도움을 받음. 대학 연구용 원자로의 시설 개선과 안전성 강화를 위한 프로젝트에도 자금이 지원되며, 이는 원자로의 운영 효율성을 높이고 잠재적인 안전 문제를 예방하는 데 중요함. NEUP의 지원을 통해 미국 내 대학 연구용 원자로가 최신 기술과 안전 기준을 준수하며 효과적으로 운용될 수 있도록 보장되며, 원자력 에너지 분야의 연구와 교육 발전에 기여함

출처 : 미국 에너지부 원자력실, 보도자료 재가공

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

미국 주요 대학의 원자력 관련 교육 과정

텍사스 A&M 대학교 – 원자력공학과(Nuclear Engineering)

택사스 A&M 대학교는 2023년 미국 종합대학 학부 공대 순위에서 전미 13위를 기록했으며, 대학원 공대 순위는 전미 10위를 기록한 명문 대학으로, 특히 이공계 분야에 특화되어 있음. 또한 원자력공학 대학원은 전미 3위, 핵물리학 대학원은 전미 7위를 차지했음.

원자력공학 학사 학위 프로그램은 원자로 설계/운영/시뮬레이션/유지보수, 원자력 생산, 방사선 탐지, 핵에너지 생산, 방사선 탐지 등을 포함한 원자력 과학 및 원자력 기술 분야에서 미래의 원자력공학 전문가, 연구원 및 리더를 교육하고 준비하는 것을 목표로 함. 방사선 보건 기술, 계산법 개발, 핵 물질, 핵 안보 및 핵 정책 등도 포함됨

텍사스 A&M 대학은 교육 및 연구용 원자로 2기를 보유하고 있으며 원자로 안전, SMR개발, 원자로 시스템 최적화, 원자로 계측, 데이터 검증, 2상 흐름에 대한 3차원 해석 연구 등에 활용함[10)]

메사추세츠 공과대학교(MIT) – 원자력 과학 및 공학과(Nuclear Science and Engineering)

US News에 따르면 메사추세츠 공과대학교는 2023년 미국 공학, 물리학, 화학, 컴퓨터 순위에서 전미 1위를 기록했으며, 원자력공학 순위는 2위를 차지함

원자력 과학 및 공학 학부과정에서는 원자로의 원리와 설계에 대해 이해하며, 방사선 물리 및 측정, 안전기술에 대한 다양한 실습을 할 수 있음. 단순히 기술 및 원리에 대해서만 배우지 않으며 기업가 정신, 법률, 의학, 산업 응용에 대한 광범위한 내용을 다루게 됨[11)]

미시간 대학교 – 원자력공학 및 방사선 과학(Nuclear Engineering & Radiological Sciences)

미시간 대학교의 원자력공학 및 방사선 과학과는 US News and World Report에 의해 미국 최고의 원자력공학 대학원에 지속적으로 선정되었음. 교수 1인당 학생 비율은 6명이며, 2023년 기준 연구비는 3,160만 달러로 교수, 박사후 연구원, 대학원생들이 연구 기회를 자유롭게 얻을 수 있음. 학부 졸업생들은 원전 관련 업계로 취업하거나, 원자로 연구, 핵융합 관련 연구, 방사선 치료 연구, 방사선 검출 연구, 플라즈마 추진 연구를 할 수 있으며, 핵물질 관련 국가 보안 분야에서 일할 수 있음[12)]

10) 텍사스 A&M 대학교 원자력공학과 홈페이지
11) 메스추세츠 공과대학교 원자력 과학 및 공학과 홈페이지
12) 미시간 대학교 원자력공학 및 방사선 과학과 홈페이지

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

Ⅲ. 러시아 원자력 산업 및 양성정책

1. 러시아 원전 산업 현황 및 발전 방향
2. 정부 주도 인재 양성 프로그램
3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

Ⅲ

1. 러시아 원자력 산업 현황 및 발전 방향

러시아 원자력 발전 전력 생산규모

2021년 기준, 전체 생산량 중 원전이 약 20% 차지

러시아는 2021년 기준 전년 대비 3% 증가한 222,244GWh의 전력을 원전에서 생산함. 2021년 기준 러시아에서 원자력은 전체 전력 생산의 19.9%를 차지하며, 이는 화력(60.7%) 다음으로 높은 비율임. 한편, 2023년 기준 러시아 원전의 고정 발전량은 27,727MW로 러시아 전체 발전소 고정 발전량의 11.98% 수준임. 러시아는 원자력 발전을 저탄소 발전의 핵심 요소로 인식하고 있으며, 2030년까지 자국 내 발전에서 원자력이 차지하는 비율을 25%까지 증가시킬 계획을 세우고 있음[13)]

러시아 원전 건설 정보

러시아는 현재 37개 원자로를 운영 중으로 세계 4위 수준의 원전 대국임. 10개의 원자로는 폐쇄했으며, 4개의 원자로를 신규 건설하고 있음. 대부분의 원전은 인구가 밀집 되어있는 우랄산맥 서쪽에 위치함. 최근 러시아의 대규모 원전 설비 건설은 일반적으로 이미 운영이 중단되어 해체된 것을 신규로 건설하거나 노후화된 발전 설비를 교체하는 것이 대부분임

[표] 2020-2021 러시아 전력 생산

지표/년도	2020		2021		전년 대비 성장률(%)
	발전량(GWh)	비중(%)	발전량(GWh)	비중(%)	
화력	620,566.8	59.27%	676,908.0	60.73%	9.1%
원자력	215,682.1	20.60%	222,244.8	19.94%	3.0%
수력	207,416.3	19.81%	209,519.8	18.79%	1.0%
풍력	1,384.1	0.13%	3,621.7	0.32%	161.7%
태양광	1,982.3	0.19%	2,253.8	0.20%	13.7%
총 발전량	1,047,031.5	100%	1,114,548.0	100%	6.4%
전력 소비량	1,033,720.0	-	1,090,437.0	-	5.5%

출처 : KOTRA, 러시아 원자력 산업 동향 및 이슈

13) KOTRA, 러시아 원자력 산업 동향 및 이슈, 2022.09.15

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

2. 정부 주도 인재 양성 프로그램

러시아 원전 국영기업 Rosatom社, 파트너 대학에 장학금 지급

로사톰(Rosatom)社는 러시아의 국영원자력공사이자 원전 건설 수주액 기준 세계 1위 원자력 기업임. 로사톰社의 전신은 러시아 연방 원자력부이며, 2007년 국영회사로 전환하였음. 러시아 자국내 원전뿐 아니라 전 세계 국가를 상대로 사업을 시행하고 있으며, 동사는 외교적인 측면에서도 핵심적인 역할을 수행하고 있음. 로사톰社는 러시아 연방 정부와 함께 기금을 마련하여 중앙아시아, 아프리카, 남미, 동남아 등 개도국의 유학생 중 로사톰의 파트너 대학 내의 원자력 관련 전공자에게 장학금을 수여하고 있음

[표] Rosatom 국제 장학금 주요 내용

항목	내용
수혜 규모	매년 300명 이상
신청 대상	알제리, 아르헨티나, 아르메니아, 아제르바이잔, 볼리비아, 브라질, 불가리아, 부룬디, 캄보디아, 칠레, 코스타리카, 쿠바, 도미니카 공화국, 에콰도르, 이집트, 에티오피아, 가나, 가이아나, 인도네시아, 이라크, 카자흐스탄, 키르기스스탄, 라오스, 몽골, 모로코, 미얀마, 나미비아, 니카라과, 나이지리아, 파라과이, 필리핀, 콩고공화국, 르완다, 엘살바도르, 사우디아라비아, 세네갈, 세르비아, 슬로베니아, 남아프리카공화국, 시리아, 타지키스탄, 탄자니아, 태국, 터키, 우간다, 우즈베키스탄, 베트남, 잠비아, 짐바브웨의 국민
대상 학위	- **학사(Undergraduate(Bachelor's) Degree) : 4년 과정** 원자력공학 및 핵물리학, 핵물리 및 기술, 응용수리물리학, 물리학, 화학, 전력공학, 전기공학, 화력공학 및 난방공학, 발전공학, 화학공학, 재료공학 - **준석사(Specialist Degree) : 5년 6개월 과정** 원자로 및 재료, 원전 설계, 운영 및 엔지니어링, 설치 및 자동화, 현대에너지 소재의 화학기술 - **석사(Master's Degree) : 2년 과정** 원자력공학 및 열물리학, 핵물리 및 기술, 원자력공학 및 핵물리학, 핵물리 및 기술, 응용수리물리학, 물리학, 화학, 전력공학, 전기공학, 화력공학 및 난방공학, 발전공학, 화학공학, 재료공학 - **박사(Postgraduate(PH.D.) Degree) : 4년 과정** 원자력/열/신재생에너지 및 관련 기술, 물리학 및 천문학, 화학, 화력공학, 화학공학, 소재공학
파트너 대학	모스크바공학물리연구소 원자력대학교(Moscow Engineering Physics Institute, MEPhI) 모스크바 물리기술연구소(Moscow Institute of Physics and Technology, MIPT) 국립연구대학 - 모스크바 전력공학연구소(Moscow Power Engineering Institute, MPEI) 국립과학기술대학교(National University of Science and Technology, MISIS) 멘델레예프 화학기술대학교(D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia) 상트페테르부르크 대학교(St. Petersburg University) 표트르 대제 상트페테르부르크 폴리테크닉 대학교(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University) 니즈니 노브고로드 주립기술대학교(Nizhny Novgorod State Technical University, NNSTU) 우랄연방대학교(Ural Federal University) 톰스크 폴리테크닉 대학교(Tomsk Polytechnic University)

출처 : Rosatom 장학금 홈페이지

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

러시아 주요 대학의 원자력 관련 교육 과정

모스크바공학물리연구소 원자력대학교(Moscow Engineering Physics Institute, MEPhI)

모스크바공학물리연구소는 1942년 모스크바기계연구소(MMI)로 시작되어 1953년 분리됨. 연구소 산하의 원자력대학교는 학생들의 교육수준과 전문성을 높이기 위해 2013년 모스크바 교육부에 의해 창설되었음. 학사과정은 원자력 및 열물리학, 핵물리 및 기술, 재료과학 및 재료공학 등 총 3개 과정, 준석사과정은 원자로 및 재료, 원자로 설계 및 운영 등 2개 과정, 석사과정은 계측, 원자력 및 열물리, 핵물리, 재료공학 등 4개 과정, 박사과정은 물리천문학, 정보학 및 컴퓨터공학, 원자력/열/신재생에너지공학 등 3개 과정이 개설되어 있음[14)]

모스크바 전력공학연구소(MPEI) – 원자력공학 및 열물리학 (Nuclear Power Engineering and Thermophysics)

국립연구대학교 산하의 모스크바 전력공학연구소의 4년제 학사과정인 원자력공학 및 열물리학은 5개의 세부 전공으로 나뉘며 모든 수업은 러시아어로 진행됨. 세부전공 중 '원자로 설비 및 설치'는 현대적 기술을 활용하여 유망 에너지의 관련 전문가 양성을 목표로 하고 있음. 2년제 석사과정도 동일한 전공 및 세부전공으로 나뉘어져 있으며 준석사과정과 박사과정은 없음[15)]

표트르 대제 상트페테르부르크 폴리테크닉 대학교(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University) – 원자력공학 및 열물리학 (Nuclear Power Engineering and Thermophysics)

표트르 대제 상트페테르부르크 폴리테크닉 대학교는 학사, 준석사, 석사과정으로 원자력공학 및 열물리학 과정이 개설되어 있으며 박사 과정에는 전력공학의 세부전공으로 원자로, 연료주기, 방사선 안전과가 있음. 석사과정에는 국제 프로그램이 포함되어 있으며, 해당 과정은 영어로 수업이 이루어짐[16)]

니즈니 노브고로드 주립기술대학교(Nizhny Novgorod State Technical University, NNSTU) – 원자력공학 및 열물리학 (Nuclear Power Engineering and Thermal Physics)

니즈니 노브고로드 주립기술대학교는 학사과정과 석사과정에 원자력공학 및 열물리학이 개설되어 있음. 학부 단계에선 기초 물리, 응용 물리, 계산, 원자로 설계/운영/설치/수리, 보조장비 테스트, 패턴 연구, 모델링 등에 대한 강의가 이루어짐. 주요 연구분야는 원자로 안전, 열전달, 열유체역학, 원전 내 터빈 및 증기발생기 등이 있음. 석사 프로그램 중 '소형 원전'프로그램은 영어로 진행됨. 해당 학과 졸업생들은 발전소, 원자로 및 관련 기자재 생산업체, 기타 엔지니어링 회사에 등으로 진출함

14) 모스크바공학물리연구소 원자력대학교 홈페이지
15) 모스크바 전력공학연구소 홈페이지
16) 표트르 대제 상트페테르부르크 폴리테크닉 대학교 홈페이지

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

Ⅳ. 중국 원자력 산업 및 양성정책

1. 중국 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 정부 주도 인재 양성 프로그램
3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

Ⅳ

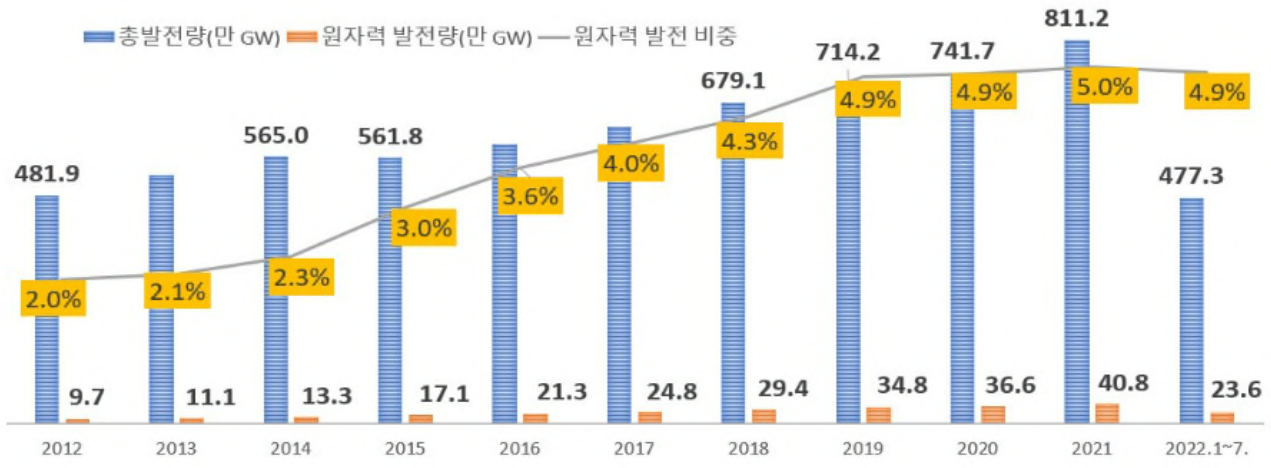
1. 중국 원자력 산업 현황 및 발전 방향

중국 원자력 발전 전력생산규모

2023년 기준, 원전은 전체 전기 생산 중 약 5% 점유

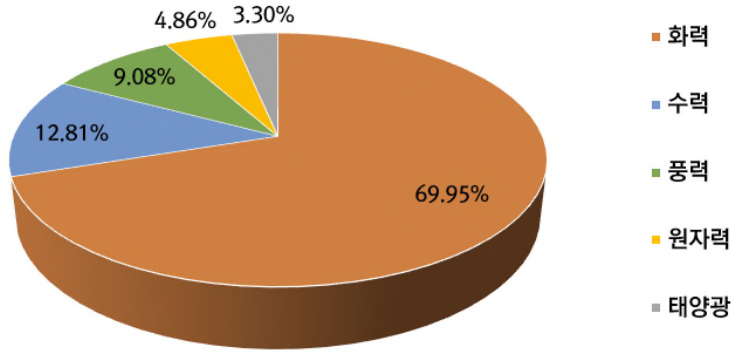
2024년 2월 중국원자력업계협회는 2022년 중국의 원자력 설비규모, 발전량 등의 내용을 담은 '전국핵전운행정황(全国核电运行情况)'을 발표함. 2023년 12월 31일 기준 중국의 원전 설비 규모는 원자로 55기, 생산용량은 57,031.34MW로 나타남. 2023년 기준 총 전기 생산량은 8,909.2TWh였으며 이중 원전을 통해 생산된 전력은 433.371TWh를 기록하여 전체 발전량의 4.86%를 차지한 것으로 나타남. 아직까지 중국은 화력발전의 비중이 70% 가까이 차지하고 있으며, 그 다음 수력, 풍력이 뒤를 잇고 있음

[그래프] 중국 원자력 발전 현황(2012~2022 상반기)



출처 : KOTRA, 탄소중립시대 중국 원전 건설 가속화

[그래프] 2023년 중국 유형별 발전 점유율



출처 : 중국원자력산업협회(中國核能行業協會),全国核电运行情况(2023年1~12月. 2023.02.01.

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

2. 정부 주도 인재 양성 프로그램

원자력 석박사 인재 양성 위한 중국핵공업대학 설립

중국 최대의 원자력 국유기업인 중국원자력공업집단공사(China National Nuclear Corporation, 이하 CNNC社)는, 원자력 관련 고급 인력을 양성하기 위해 중국 핵공업대학(核工业大学)을 설립함. CNNC社가 톈진시 빈하이 신구에 부지 22만 평, 예산 30억 위안을 투입하기로 결정했으며, 핵공업대학 건립 계획이 2018년 3월 중국 양회에서 처음 제기된 이래 단 3개월 만에 추진되어 주목받고 있음

핵공업대학의 설립 이유는 원자력 분야 핵심 고급 인력 부족 때문임. CNNC社의 전체 2,300명 인원 중 원자력공학 전공자는 20%에 불과하며, 나머지는 컴퓨터나 제어계측 등 다른 분야 전공자들임. 현재 칭화대, 베이징대, 상하이교통대 등 일부 명문대에서 원자력공학 전공자를 배출하고 있지만, 중국 원전 산업의 폭발적인 성장으로 우수한 고급 인력이 부족한 상황임. 원자력 핵심 인력 부족은 핵융합, 우라늄 농축, 사용후핵연료처리 등 첨단 분야에서의 성과 저조로 이어졌고, 이 문제를 해결하기 위해 중국 원전 산업계는 외국의 우수 인력을 유치하고자 했으나 원자력의 민감성 때문에 어려움이 있었음

핵공업대학은 원자력공학 석박사 과정만 진행하는 교육기관이며, 석박사 과정, 실무훈련, 국제학술교류, 핵심기술 연구개발을 한꺼번에 진행하는 국가급 산학연 혁신시범기관임. CNNC社가 운영자금을 지원할 예정이며, 대학원 교육과 핵심기술 연구개발을 맡아 세계 일류 원자력공대로 만들겠다는 목표를 발표함

핵공업대학을 유치하고자 하는 지역은 많았으나, 톈진의 빈하이 신구가 낙점된 이유는 헬기, 대형 비행기, 로켓을 포함한 첨단장비 제조업이 발달한 지역이라 관련 인재를 확보하기 쉽다는 판단이 결정적이었던 것으로 알려짐. 빈하이 신구는 톈진시 인근의 경제개발구이며, 톈진항까지 확장되어 신규 산업단지가 대규모로 들어서고 있음[17)]

[그림] 톈진시 빈하이 신구의 핵공업대학 착공식

출처 : 중국원자력전력망 보도자료

17) 중국원자력전력망 보도자료, 2020.03.26

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

칭화대학교의 원자력공학 및 관리 국제 석사 프로그램

2017년 칭화대학교는 원자력 기술과 경영에 정통하며 글로벌 시각을 갖춘 고급 인재를 양성하고자 2년제 원자력공학 및 관리 국제 석사과정(Tsinghua University International Master's Program in Nuclear Engineering and Management, 이하 TUNEM)을 개설했음. CNNC社를 비롯하여 국가전력투자공사(State Power Investment Corporation, 이하 SPIC社), 중국종합원자력그룹(China General Nuclear Power Group, 이하 CGN社) 등의 국영기업이 해당 프로그램 개설을 위해 자금과 인적 지원을 한 것으로 알려짐
TUNEM에 지원하는 수강생들은 개인 지원자와 지정 지원자(해외 정부 또는 기업이 선정한 지원자)로 나뉘며, 젊은 학부 졸업생부터, 이미 업계에 진출한 원자력 산업체의 임원까지 연령대와 배경이 다양한 내/외국인으로 이루어져 있음. 이들은 수업료, 기숙사비, 기본 생활비, 의료보험 등이 포함된 중국 정부 장학금을 받을 수 있음. 다양한 국가 출신의 수강생으로 구성되어있기 때문에 기본적인 수업은 영어로 진행되며, 유학생들의 적응을 돕기 위한 중국어 교육 및 중국 문화 교류 활동도 포함되어 있음
TUNEM에 참가하는 모든 학생은 지도교수와 현직 수석 엔지니어의 멘토링을 받을 수 있음. 지도교수는 학생들의 학업 능력을 개발하는 데 중점을 두며, 엔지니어는 산업 전반에 대한 이해와 커리어 향상에 대한 상담을 진행함
코로나19 기간엔 온라인 수업으로만 프로그램이 진행되었으나, 2022년부터 TUNEM의 2학년 학생들은 CNNC社 산하의 장저우 원전, 친산 원전 등 3개 원전 현장에 직접 나가 3개월간 시설이나 설비에 대해 배우고, 시뮬레이션 룸에서 원자로 시설을 조작하는 인턴십 기회를 얻게 됨. 또한 원전뿐만 아니라 원전 기자재 제조 공장, 방사선 보건의료연구소 등에 방문하여 원자력 관련 인사이트를 넓힐 수 있음

[그림] 장저우 원전에 방문한 TUNEM 수강생들

[그림] 친산 원전에 방문한 TUNEM 수강생들

출처 : 칭화대 TUNEM 보도자료

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

4. 산업계의 원자력 인재 양성 프로그램

CNNC社, 원자력 관련 산학교류회 개최

2023년 8월, CNNC社가 주최한 원전 산학교류회에 베이징대, 칭화대, 하얼빈 공대를 포함한 50여 개 대학 담당자들과 50여 개의 원전 관련 업계의 채용 담당자들이 모여 인재 양성과 산학 협력에 대해 논의가 진행됨. CNNC社 담당자는 원전 산업이 젊은이들에게 경력 개발과 국가 봉사의 기회를 제공하는 플랫폼임을 강조했으며, 대학 담당자들에게 우수한 학생들이 CNNC社에 취직할 수 있도록 안내함. 또한 CNNC社 산하의 중국원자력발전, 중핵404유한공사(中核四0四有限公司), 방사선연구소 등의 담당자도 참가해 회사 소개와 함께 인재 양성 정책 시행 현황, 채용 계획을 발표함.

학교 측은 CNNC社에 여름 인턴십 캠프 개최 등의 실질적인 지원을 포함한 기타 사회적 실천을 촉구했음. 기업 측은 졸업생들의 취업 현황과 산학 협력을 위한 접근방식에 대해 토론을 진행함[18)]

중국 원전 7개社, 엘리트 인재 교육 과정 시작

2023년 10월 23일, CNNC社의 첫 '엘리트 인재' 교육과정이 원자력산업연구소 톈진캠퍼스에서 개원됨. 본 교육과정에는 진산원자력발전유한공사, 장쑤원자력유한공사, 푸칭원자력발전유공회사 등 7개社에서 온 41명의 엘리트 인재가 참여하였음. 교육의 주요 목표는 다양하게 있으나 대표적으로 직무 능력 및 기술의 향상과 더불어 정치적 지위의 향상, 집행력 강화 등이 있음. 또한 엘리트 인재 간의 교류의 장 역할도 할 것이며, 높은 자질을 가진 인재가 모일 수 있는 플랫폼을 더욱 늘릴 계획임

CNNC社는 이번 교육 프로그램을 통해 발전 품질을 높이고, 국제적으로 경쟁력 있는 원전 기업으로의 성장을 위한 인재 양성을 하고자 함. 개강식에는 중국원자력공사 인사책임자, 원자력산업연구소 톈진캠퍼스 책임자 등이 참석하였음[19)]

[그림] CNNC社 2023 산학교류회 현장

[그림] 원전 엘리트 인재 교육과정 개원식

출처 : 중국원자력공업집단공사 보도자료

18) 중국원자력공업집단공사 보도자료, 2023.08.23
19) 중국국가원자력주식회사 보도자료, 2023.10.31

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

Ⅴ. 일본 원자력 산업 및 양성정책

1. 일본 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 정부 주도 인재 양성 프로그램
3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

V

1. 일본 원자력 산업 현황 및 발전 방향

일본, 10년 만에 '탈원전' 기조 철회

후쿠시마 사고 이후 원전 신설 및 증설 포기 방침 10년 만에 철회

2022년 12월, 일본 정부는 'GX実現に向けた基本方針'(영문명 Outline of the Basic Policy for the Realization of GX)을 확정함으로써, 후쿠시마 원전 폭발 사고 이후 10년 만에 원전 신설 및 증설을 철회하기로 했던 방침을 변경함. 이는 기존에 폐로하기로 결정했던 원자로를 보수해 다시 가동하는 것을 우선적으로 추진하며, 이후 원전 신설이나 개량형 원전 도입 모색 등의 방안도 포함함. 현재 60년으로 지정된 원자로의 수명을 연장하기 위해 운전 중단 및 정지 기간은 운전 기간에서 제외하는 조치도 이루어짐

일본의 정책 변화는 몇 년에 걸쳐 단계적으로 진행됨. 일본 정부는 2011년 후쿠시마 사고 이후 기존 원자로 가동 중단을 결정했으나, 2015년 센다이 원전 1호기를 재가동하며 원전 운전을 재개함. 이는 원전 가동 중단에 따른 전력 부족과 화력 발전에 쓰이는 가스 가격이 대폭 상승했기 때문임

산업 생태계 및 전문 인력 부족 심각

일본은 후쿠시마 원전 사고 이후 원자력 관련 엔지니어링 및 제조업이 크게 위축되었고, 원자력 산업의 주요 업체였던 가와사키중공업, 스미모토전기공업이 원자력 사업 부문을 폐지한 상태임. 여기에 원자력 연료봉의 피복재를 공급하던 지르코와 원자로 압력용기를 생산하던 일본주조강이 폐업하며, 일본 전체 원자력 산업의 붕괴로 이어질 수 있다는 지적이 있음

일본전기공업협회의 조사에 따르면 원자력 장비 제조 담당 숙련 엔지니어는 45% 감소했으며, 대학 및 대학원의 원자력공학 전공자도 2011년 이후 14% 감소한 것으로 나타나 인력 부족 위기를 극복해야 하는 상황임. 또한 원전 신축이 10년 넘게 중단되어 건설 경험이 있는 기술자들의 고령화가 진행되어 설계 및 건축 기술 계승에 차질을 빚고 있으며, 향후 신설될 원전도 건축기술이나 설계능력에 있어 세계 표준에 못 미칠 가능성이 있음[20)]

20) 시사저널 보도, 2023.01.29

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

2. 정부 주도 인재 양성 프로그램

2050 탄소중립에 따른 녹색성장전략

일본은 2050년 탄소중립 목표달성을 위한 범부처 국가 전략으로 「2050 탄소중립에 따른 녹색성장전략」(이하 녹색성장전략)을 발표함. 녹색성장전략은 2020년 12월 25일 최초로 발표되었으며, 2021년 6월 18일 일본 경제산업성이 관계부처와 연계하여 더욱 구체화 된 수정본을 발표함. 녹색성장전략은 14대 핵심 산업분야에 대한 실행계획을 중심으로 작성되어 있으며, 해상풍력과 원자력 산업에 한하여 정책 로드맵상 인재육성 추진이 명시되어 있음. 또한 정책 도구로써 대학의 대처를 강조하고, '녹색성장에 관한 젊은 워킹그룹'이 제안한 인재육성 정책을 포함하는 등 인재육성에 관한 내용도 일부 포함하고 있음. 녹색성장전략에서 강조한 대학의 대처로는 우선 탄소중립 목표달성을 위해 대학 커리큘럼 등의 교육·연구환경의 정비 및 재검토, 탄소중립 관련 학위 프로그램 개설, 지방국립대의 관련 전공 정원 확대, 대학원 과정 개선을 통해 탄소중립에 대한 사회인 교육의 가속 등이 있음[21)]

원자력 인재 및 혁신 관련 최근 현황 및 12기 검토과제 발표

2023년 6월 2일 개최된 16회 회의에서 일본 문부과학성(MEXT)의 원자력과학기술위원회 원자력연구개발 인재워킹그룹은 원자력 인재 육성 및 원자력 혁신을 둘러싼 최근 현황을 논의하고 관련 자료를 공표함

□ 주요 내용 요약

○ GX 실현을 위한 기본 방침:

- 에너지 기본계획에 따라, 원자력의 안전성 향상을 목표로 하며, 새로운 안전 메커니즘을 포함한 차세대 혁신로 개발 및 건설에 주력함.

○ 전략 로드맵:

1단계 : 약 5년간 민간의 다양한 기술 간 경쟁을 촉진

2단계 : 2024년 이후 도입 가능성이 있는 기술을 압축 및 중점화

3단계 : 장기적 개발 과제에 대한 검토를 진행

○ 원자력 분야의 연구개발 및 인재육성에 관한 대응(23년 총 예산 1,470억엔)

- 원자력 분야의 혁신적 기술 개발에 107억 4,300만 엔
- 의료용 RI를 포함한 원자력 과학기술과 관련된 다양한 연구개발을 추진하여 혁신을 창출하고 연구개발 및 인재육성 기반을 강화에 52억 3,100만엔 배정
- 안전을 최우선으로 하는 지속적 백엔드 대책 추진에 538억 8,700만 엔 배정
- 원자력 안전성 향상을 위한 연구에 10억 2,600만 엔 할당[22)]

21) KOTRA 해외시장뉴스, 2021.01.21
22) 과학기술인재정책 플랫폼 단신동향, 2023.06.16

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

3. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

일본 주요 대학의 원자력 관련 교육 과정

도쿄대학교 공학대학원 – 원자력 전공(전문직대학원) (原子力専攻(専門職大学院)

도쿄대학교의 원자력 전공 전문직대학원은 원자력 산업계와 안전 규제 행정에서 지도적 역할을 하는 원자력 전문가를 양성하는 일본 최초의 대학원임. 해당 과정은 원전을 비롯한 원자력 관련 시설의 안전 확보, 설계·건설, 운전 관리는 물론 신규 프로젝트, 연구개발 등 모든 원자력 분야의 전문가를 육성하는 것을 목표로 함

도쿄대학교 공학대학원 – 원자력 국제전공(原子力国際専攻)

도쿄대학교의 원자력 국제전공은 원자력발전 및 방사선에 대한 연구를 실시하며, 최근엔 원전 플랜트 수출을 포함한 국제 협력을 담당하는 리더 육성에도 힘쓰고 있음. 주요 연구 분야는 원자력 에너지 및 발전 기술, 방사선 응용 기술, 원자로 모델링 및 시뮬레이션, 재료공학임. 모든 강의는 영어로 실시됨[23)]

와세다 대학교 & 도쿄시립대학교 원자력협동전공(Cooperative Major in Nuclear Energy)

지난 2010년, 와세다 대학교는 도쿄시립대학교와 협력하여 원자력협동전공을 신설함. 도쿄시립대학교는 원자력 안전, 원자력 시스템, 원자로 운영, 방사선 응용, 방사선 검출에 대해 연구하며, 와세다 대학은 반응기 설계, 원자로 내부 열수력학, 가속기, 재료공학, 환경 및 에너지에 대한 연구를 진행함[24)]

큐슈대학교 – 응용양자물리 및 원자력공학과(Applied Quantum Physics and Nuclear Engineering)

큐슈대학교의 응용양자물리 및 원자력공학과는 원자력 및 방사선 공학, 원자력에너지 및 핵융합공학, 기능성 소재 및 방사선 재료 개발, 응용응집물질물리학 등 4개의 주요 연구과제를 다루고 있음. 특히 원자력 에너지 시스템 연구 그룹에서는 원자로 사고시 열수력현상, 손상된 노심의 시뮬레이션, 수치 해석 등을 연구하며 이를 토대로 중대사고 예방을 위한 안전시스템 개발에 힘쓰고 있음[25)]

도쿄공업대학교 – 원자력공학과(Nuclear Engineering)

도쿄공업대학교의 원자력공학과는 1957년 설립된 학부로 일본에서 가장 오래된 원자력 관련 대학원 과정임. 석사과정 세부 전공으로는 기초 원자력공학, 원자로공학, 원전해체공학, 핵연료주기공학, 방사선 생물학 및 의학, 핵융합 및 가속기 공학 등이 있음. 박사과정은 원자로공학, 핵연료주기공학, 핵융합 및 가속기 공학이 있음[26)]

23) 도쿄대학교 공학대학원 홈페이지
24) 와세다대학교 협동전공 홈페이지
25) 큐슈대학교 공학대학 홈페이지
26) 도쿄공업대학교 홈페이지

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

Ⅵ. 프랑스 원자력 산업 및 양성정책

1. 프랑스 원자력 산업 현황 및 발전 방향
2. 정부 주도 인재 양성 프로그램
3. 민간 및 산업계의 양성 프로그램
4. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

VI

1. 프랑스 원전 산업 현황 및 발전 방향

프랑스, 56기 원자로 운영하는 세계 2위 국가

세계 2위 규모 원전 국가이지만, 최근 냉각수 부족 등 문제 발생

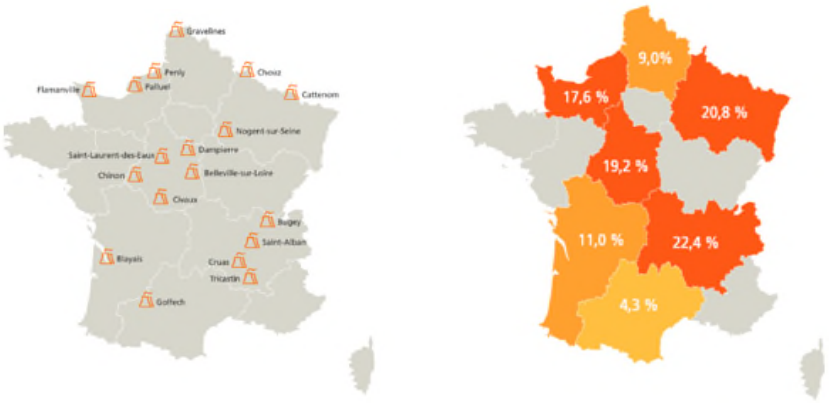
2023년 1월 기준, 프랑스는 총 18개 원전에서 56기의 원자로를 가동하고 있으며, 발전용량은 61,730MW 수준으로 가동 기수와 용량 모두 미국에 이어 2위 규모임. 프랑스에서 가동 중인 원자로는 1,450MW급 4기, 1,300MW급 20기, 900MW급 32기임. 여기에 2024년 가동이 시작될 예정인 노르망디의 플라망빌 원전은 1,650MW급으로 알려짐

한편 프랑스는 2021년까지는 전체 전력 생산 중 70%에 가까운 전력을 원자력이 담당했으나, 2022년 이후 냉각수 부족과 원전 노후화로 원자력의 비중이 줄어들고 있음

프랑스의 주요 원자력 발전 지역

프랑스의 원전은 비교적 여러 지역에 분산되어 있음. 이는 프랑스 전력의 70% 가량을 원자력으로 생산하고 있기 때문에 전국의 전력 수요를 감당하기 위해서는 여러 지역에 원전을 건설해야 했기 때문임. 내륙에 위치한 원전은 냉각수로 강물을 활용하고 있음. 2022년엔 가뭄으로 인한 냉각수 부족, 노후 원전의 부식, 균열 문제로 56기 중 32기가 가동을 중단하였으며, 원자력 에너지의 점유율은 프랑스 전체 전력 생산량인 279TWh의 62.58%까지 감소한 것으로 나타남. 27)28)

[표] 프랑스 원전 분포 현황 및 비중



출처 : KOTRA, 프랑스 원자력 산업 동향

27) 프랑스의 원전 설계수명 만료 후 운영 입법례, 국회도서관, 2022.06.28
28) 한겨레 보도자료, 2023.06.05

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

2. 정부 주도 인재 양성 프로그램

프랑스 정부, I2EN 설립하여 원자력 관련 인재 교육 및 훈련

2009년, 프랑스 정부는 국제원자력연구소(l'Institut international de l'énergie nucléaire, 이하 I2EN)를 창설하기로 발표했으며, 2011년 I2EN이 공식 출범함. I2EN은 원자력 교육과정이 업계의 요구사항에 맞춰 높은 기준을 충족하도록 지원하고 있으며 I2EN의 기준에 부합하는 과정을 수료/졸업하는 경우에 졸업장에 I2EN 라벨을 수여함[29)]

[표] I2EN의 인증을 받은 교육과정

학제	학교	학과
산업학사	낭트 대학교(Nantes Université)	화학 및 핵 계측학(MCN)
		방사선 방호 및 환경(R&E)
	파리-사클레 대학교(Paris-Saclay University)	에너지 물리학 기술(TPE)
	엑스 마르세유 대학교(Aix-Marseille University)	방사선 보호 및 원자력 안전(RSN)
	몽펠리에 대학교(Université de Montpellier)	재료 화학 및 물리학, 핵연료주기에 적용되는 화학공정
공학학위	몽펠리에 국립화학학교 (École d'ingénieur en Chimie Montpellier)	원자력 화학 및 환경 공학 학위(CNE)
	국립원자력과학기술원 (L' Institut national des sciences et techniques nucléaires, INSTN)	원자 공학 엔지니어 학위(GA)
	국립엔지니어링 및 연구센터 대학원 (École nationale supérieure d'ingénieurs de Caen & Centre de Recherche, ENSICAEN)	물리학 및 임베디드 시스템 공학 학위, 원자력공학 및 에너지 전공
석사학위	파리-사클레 대학교(Paris-Saclay University)	1학년 : 물리학 및 공학 화학 및 화학공학 2학년 : 연료주기 해체 및 폐기물 관리 원자로 운영 원전 설계 원자로 물리학 및 엔지니어링
	툴루즈 3대학 (Université Toulouse III Paul Sabatier)	에너지 및 에너지 전환 물리학 석사 (PEnTE)
	IMT 아틀랑티크 공과대학 (IMT Atlantique)	원자력공학 석사 (NE)
		첨단 핵폐기물 관리 (ANWM)
		원자력 생산 및 산업 응용 (NEPIA)
	그르노블 INP 폴리테크닉 대학교 (Grenoble INP Phelma)	재료 및 원자력 에너지 공학(MANUEN)
	몽펠리에 대학교(Université de Montpellier)	분리화학 및 재료화학 석사(CSMP)

출처 : I2EN, I2EN Accredited Programmes for Nuclear Energy

29) I2EN 홈페이지

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

3. 민간 및 산업계의 양성 프로그램

Talents for Nuclear Foundation, 원자력 산업 등에 장학금 및 연구자금 지원

프랑스 최대의 자선 네트워크인 프랑스 재단(Foundation de France)은 프랑스의 엔지니어링 그룹인 Assystem社, 산업 안전 컨설팅 그룹인 Apave社, 원자력 산업체 Nuvia社의 지원을 받아 Talents for Nuclear Foundation라는 재단을 설립함. 재단 설립에는 프랑스 전력공사 EDF社와 프랑스 원자력 대체에너지 위원회(Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, 이하 CEA)와의 자금 지원도 포함된 것으로 알려짐

재단의 설립 목적은 Apave, Assystem, Nuvia와 국립원자력과학기술원(INSTN)이 협력하여 원자력 관련 교육과정 홍보, INSTN 및 산하 학교에 대한 투자, 원자력 전공 학생들의 생활여건 개선 및 연구 기회 부여임. Talents for Nuclear Foundation이 지원하는 학교는 총 8개 학교로, 파리-사클레 대학, IMT 아틀랑티크 공과대학, 몽펠리에 국립화학학교, 그르노블 INP 폴리테크닉 대학교, EiCnam 공과대학, 해군 원자력 군사학교, ENSTA 파리 공학대학원, 파리 국립 화학 공학대학 등임[30)]

[표] Talents for Nuclear 재단이 진행하는 프로젝트

프로젝트 명	내용
마리 퀴리 장학금	원자력 분야 공학학위 또는 석사학위에 등록한 여학생들을 지원하는 장학금으로, 원자력 분야의 성적 다양성 문제를 해결하고, 더 많은 인재를 모집하기 위함임. 해당 장학금은 프랑스인 뿐만 아니라 유학생들에게도 동일한 자격이 주어짐
원자력 MOOC* 개설	원자력에 대한 지식을 가능한 많은 대중에게 공급하기 위해 MOOC 개설
EVOC 개발 참여	EVOC는 INSTN과 CEA가 개발하는 원자로 관련 몰입형 교육을 위한 혼합 현실 플랫폼으로, Talents for Nuclear도 플랫폼 개발에 참여 중임

* MOOC : Massive Open Online Course, 대규모 온라인 공개수업

[그림] 재단 후원사 목록

출처 : www.talentsfornuclear.org

30) Talents for Nuclear 홈페이지

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

4. 주요 대학의 원자력 관련 교육과정

프랑스 주요 대학의 원자력 관련 교육 과정

국립엔지니어링 및 연구센터 대학원 – 원자력공학 및 에너지 학과 (Nuclear Engineering and Energy)

국립엔지니어링 및 연구센터 대학원(이하 ENSICAEN)의 원자력공학 및 에너지 학과는 우선 물리공학 및 임베디드 시스템 석사과정 1학년을 마쳐야 하며, 2학년때 세부전공으로 선택 가능한 학과임. 1학년 과정에서는 수학, 물리, 계측공학, 센서, 에너지에 대해 공부함. 2학년이 되어 원자력공학 및 에너지를 선택할 경우 원전 분야의 전문가가 될 수 있도록 원자로의 원리, 개발, 해체에 대해 다루며 방사선 보호, 원자력 안전 기술, 계측 기술 등을 배우게 됨[31)]

파리-사클레 대학교 – 원자력 에너지 학과(Nuclear Science and Engineering)

파리-사클레 대학교의 원자력 에너지 학과는 석사 과정으로, 입학하기 위해서는 물리 또는 화학 학사 학위를 보유해야 함. 원자력 산업 및 저탄소 발전에 필요한 핵심 역량을 프랑스를 비롯한 전세계 학생들에게 제공하는 것을 목표로 하며, 모든 교육 및 강의는 영어로 진행됨. 대부분의 학생들이 석사 수료 후 곧바로 관련 업계에 취업할 수 있으며, 글로벌 기업의 요구사항에 충족할 수 있도록 원자로 물리학, 열유체역학, 열전달, 계측 공학, 모델링 및 시뮬레이션, 방사화학, 분리화학, 분광학, 공정 공학 등의 학문을 다룸[32)]

몽펠리에 국립화학학교 – 원자력 화학 및 환경 공학과 (Nuclear Chemistry and Environment)

원자력 화학 및 환경 공학과는 핵물질 추출에서부터 핵폐기물 저장까지 전체 원자력 발전 주기에 대해 연구함. 주요 교육 내용은 추출화학, 악티나이드 화학, 원전 해체, 폐기물 처리, 원자력 관련 법과 규제, 핵물질 합성 및 재처리, 세라믹 공학 등임[33)]

그르노블 INP 폴리테크닉 대학교 – 원자력공학과(Nuclear Engineering)

그르노블 INP 폴리테크닉 대학교의 원자력공학과정은 다른 전공의 3년제 또는 4년제 학사과정을 마친 뒤 원자력공학학위를 취득하려는 학생을 위한 1년제 과정임. 모든 강의와 발표는 영어로 진행되며, 해당 과정을 수료한 뒤에 석사 과정에 등록할 수 있는 자격이 주어짐. 학생들은 수학, 방사선 물질의 상호작용, 핵물리학 기초, 원자로 역학, 유체역학, 열전달, 소재공학, 열역학, 수치해석, 양자물리 등을 배우며 수료 후 인턴십 과정을 거치게 됨[34)]

31) ENSICAEN 홈페이지
32) 파리-사클레 대학교 홈페이지
33) 몽펠리에 국립화학학교 홈페이지
34) 그르노블 INP 폴리테크닉 대학교 홈페이지

copyright © 2023 한국원전수출산업협회. All right reserved.

참고문헌

IAEA Power Reactor Information System, 2024.02.04.
WNA, World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements. 2024.01.
연합뉴스, COP28 의장국 "117개국, 재생에너지 설비 3배 확충 약속", 2023.12.02.
그리니움, 원자력 부상한 COP28, 원자력 3배↑·핵융합 협력 제안 나와…"韓, CFE 이니셔티브 제안"2023.12.06.
조선일보, 美·유럽 "원전 인재·기술 빨리 키워라", 2023.12.27.
기계설비신문, 다시 출발하는 미 원전…기계설비업계 동참, 2021.05.03.
동아일보, 미국 7년 만에 신규 원전 가동…"향후 60~80년 안정적 에너지 제공", 2023.08.01.
한국연구재단(NRF) 홈페이지
한국수력원자력 홈페이지
에너지정책소통센터, 미국, 30년 만에 신규 원자로가 조지아에 설립되다!, 2022.09.15.
미국 에너지부 원자력실 보도자료, DOE Awards $135 Million For Groundbreaking Research By 93 Early Career Scientists, 2023.08.04.
미국 에너지부 원자력실 홈페이지, Nuclear Energy University Program
텍사스 A&M 대학교 원자력공학과 홈페이지
메스추세츠 공과대학교 원자력 과학 및 공학과 홈페이지
미시간 대학교 원자력공학 및 방사선 과학과 홈페이지
KOTRA, 러시아 원자력 산업 동향 및 이슈, 2022.09.15.
Rosatom 장학금 홈페이지
모스크바공학물리연구소 원자력대학교 홈페이지
모스크바 전력공학연구소 홈페이지
표트르 대제 상트페테르부르크 폴리테크닉 대학교 홈페이지
니즈니 노브고로드 주립기술대학교 홈페이지
KOTRA, 탄소중립시대 중국 원전 건설 가속화, 2022.09.15.
중국원자력산업협회, 全国核电运行情况（2022年1-12月, 2023.02.02.
중국원자력전력망, 天津滨海核工业大学项目进入实质性建设阶段, 2020.03.26.
칭화대 TUNEM, TUNEM学生赴中核集团专业实践顺利开班, 2023.10.26.
중국원자력공업집단공사, 中核集团举办2023年校企交流会, 2023.08.23
중국국가원자력주식회사, 中国核电举办首届"菁英人才"培训班, 2023.10.31
시사저널, 10년 만에 '탈원전' 기조 버린 일본의 과제, 2023.01.29
KOTRA, 성장 기회? 주목받는 일본의 '그린 성장전략', 2021.01.21
과학기술인재정책 플랫폼, 원자력 인재 및 혁신 관련 최근 현황 및 12기 검토과제 발표, 2023.06.16
도쿄대학교 공학대학원 홈페이지
와세다대학교 협동전공 홈페이지
큐슈대학교 공학대학 홈페이지
도쿄공업대학교 홈페이지
국회도서관, 프랑스의 원전 설계수명 만료 후 운영 입법례, 2022.06.28.
한겨레, '원전 비중 70%', 자기함정에 빠진 프랑스…무더기 가동중단·전력비용 급등, 2023.06.05.
KOTRA, 프랑스 원자력 산업 동향
I2EN 홈페이지
Talents for Nuclear 홈페이지
ENSICAEN 홈페이지
파리-사클레 대학교 홈페이지
몽펠리에 국립화학학교 홈페이지
그르노블 INP 폴리테크닉 대학교 홈페이지

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

한국원전수출산업협회 KNA