원자력전략·정책연구, 제1권 제1호(2023년 창간호), 55~72
Review on Nuclear Energy Strategy and Policy

사용후핵연료 관리의 현재와 미래

The Present and Future of Used Nuclear Fuel Management in Korea

박준우* · 윤종일**
Junwoo Park and Jong-Il Yun

원자력은 안전하고 안정적이며 경제적인 에너지원이다. 다만, 사용후핵연료 문제해결이라는 숙제를 안고 있다. 전 세계적으로 사용후핵연료 관리 기술은 고도화되고 있고 최종처분장의 운영을 목전에 두고 있는 나라 또한 존재한다. 우리나라는 최고 수준의 원전 시공 능력을 갖춘 몇 안 되는 나라로 원전 수출까지 한 원자력 강국이다. 그럼에도 사용후핵연료 문제는 여전히 답보 상태에 있다. 우리는 지난 40년간 9차례에 걸쳐 고준위방사성폐기물 처분부지를 확보하려고 시도하였다. 번번이 실패를 거듭해오고 있다. 이는 정권이 바뀔 때마다 변하는 사용후핵연료 관리정책에 대한 국민의 신뢰와 사회적 수용성이 낮은 데에서 찾을 수 있다. 이러는 사이 원전 부지 내 사용후핵연료 저장시설의 포화가 코앞으로 성큼 다가오고 있다. 최악의 경우, 가동 중인 원전을 세워야 하는 상황에 직면할 수도 있다.

국민과 미래 세대가 사용후핵연료에 대해 걱정 없이 안전하게 살아갈 수 있는 세상을 만들어야 한다. 원자력계는 사용후핵연료 안전관리 기술을 더욱더 발전시켜 국민이 전문가를 신뢰하고 안심할 수 있게 해야 한다. 또한 정부와 국회는 고준위방사성폐기물 최종처분부지의 확보에 대전제인 사회적 수용성 증진을 위해 법제화 등 다양한 정책 방안들을 조속히 마련하여야 한다. 이 글에서는 국내외 사용후핵연료 현황을 살펴보고 사용후핵연료 관리의 미래를 조망하고자 한다.

주제어 사용후핵연료 관리, 최종처분, 사회적 수용성, 특별법
Keywords Spent Fuel Management, Final Disposal, Social Acceptability, Special Act

투고일 2023.5.3. 수정일 2023.5.26. 게재확정일 2023.5.26.

* KAIST 원자력및양자공학과 박사과정(junwoo0617@kaist.ac.kr)
** KAIST 원자력및양자공학과 교수(jiyun@kaist.ac.kr)

I. 서론

전 세계는 기후변화로 심각한 위기 상황에 직면하고 있다. 탄소중립(탄소순배출량 제로)이 글로벌 핵심 아젠다로 주목받고 있고 우리나라를 비롯한 전 세계가 탄소중립을 달성하는 다양한 방안들을 고민하고 있다. 핵심은 인류의 지속가능한 성장에 있다. 우리나라는 자원빈국으로 국가 에너지 안보를 지켜내면서 탄소중립이라는 거대한 파고를 슬기롭게 헤쳐나가야 하는 딜레마에 처해 있다. 어려운 숙제가 아닐 수 없다.

유럽연합(EU)은 2023년 1월부터 시행하고 있는 EU 택소노미(탄소중립을 위한 녹색산업과 녹색경제활동에 관한 체계)를 통해 인류의 지속가능한 성장과 발전을 도모하고 있다. EU 회원국들은 수많은 논의와 격론의 과정을 거치면서 사고저항성핵연료 적용 및 고준위방사성폐기물 처분시설 운영 등의 엄격한 조건을 전제로 원자력을 녹색경제활동으로 포함하였다. 우리나라도 이와 유사한 K-택소노미를 수립하였고, 원자력을 탄소중립으로의 전환을 위한 과도기적 성격의 경제활동으로 인정하고 있다. 즉, 원자력이 완전한 녹색경제활동이라고는 볼 수 없지만, 신재생에너지의 기술발전 속도, 경제성장 등을 고려하였을 때 급격한 기후변화에 대응하기 위한 현실적이고 필수적인 산업이라고 판단한 것이다.

1978년 고리 1호기의 상업 운전이 시작된 이후, 원자력은 40년이 넘는 기간 동안 국내 주요 전력 생산을 책임져왔다. 우리나라는 원자력 기술개발을 거듭하여 한국형 원전 개발과 UAE 등에 원전을 수출하는 성과를 이룬 바 있다. 특히, 우리나라는 우수한 원전 시공 능력과 기술력을 갖춘 몇 안 되는 나라로 인정받고 있음에도 원자력의 그림자인 사용후핵연료 문제를 해결하는 데는 여전히 제자리걸음을 하고 있다.

사용후핵연료는 원자력발전 연료로 사용되고 나온 핵연료를 말하며, 원자력안전법 제35조제4항에 따라 폐기하기로 결정한 사용후핵연료는 방사성폐기물, 그중 대부분이 고준위방사성폐기물에 해당한다. 사용후핵연료는 기본적으로 원자력발전소 부지내 저장시설(이하 부지내저장시설)과 중간저장시설에서 일정 기간 보관한 후 최종처분장으로 이송하여 영구히 처분하는 개념으로 관리가 이루어지고 있다. 우리나라는 사용후핵연료를 부지내저장시설에 임시로 저장만 한 채 그 이후 단계로 나아가지 못하고 있다.

원자력이 나아가야 할 올바른 길은 기후위기에 실효적 대응에 이바지함과 동시에 환경과 미래 세대에 부담을 전가하지 않는 것이다. 이를 위해서는 사용후핵연료의 안전하고 시의적절한 관리가 필요하다. 따라서 본 글에서는 현재까지의 국내외 사용후핵연

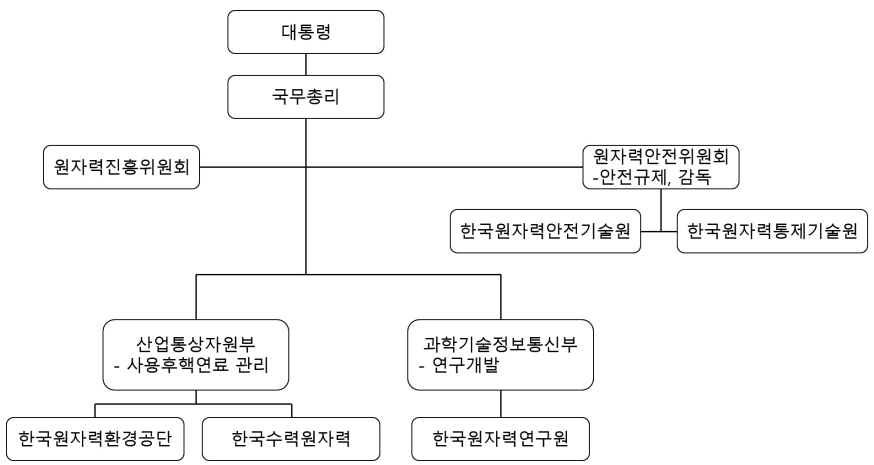
료 관리 현황 전반을 소개하고 이를 바탕으로 우리나라가 사용후핵연료 관리를 위해 나아가야 할 방향에 대해 논하고자 한다.

II. 국내 사용후핵연료 관리 현황

1. 국내 사용후핵연료 관리체계

국내 사용후핵연료 관리에 관한 정부의 행정체계는 [그림 1]과 같다. 먼저, 우리나라는 원자력 이용에 관한 주요 사항을 원자력진흥위원회에서 심의·의결하게 되어 있으며, 사용후핵연료 처리 및 처분에 관한 사항 또한 원자력진흥위원회의 심의·의결을 거치게 되어 있다. 국내 방사성폐기물 관리에 관한 행정 업무는 크게 산업통상자원부(이하 산업부), 과학기술정보통신부(이하 과기부), 원자력안전위원회(이하 원안위) 3개 정부 기관에 나누어져 있다. 산업부는 사용후핵연료의 운반, 저장 및 처분, 사용후핵연료 관리를 위한 자료 수집·조사·분석 및 관리, 사용후핵연료 관리사업을 위한 연구개발, 인력양성, 국제협력 등을 담당하고 있다. 산하 기관으로는 사용후핵연료 발생자인 한국수력원자력

[그림 1] 국내 방사성폐기물 관리 행정체계



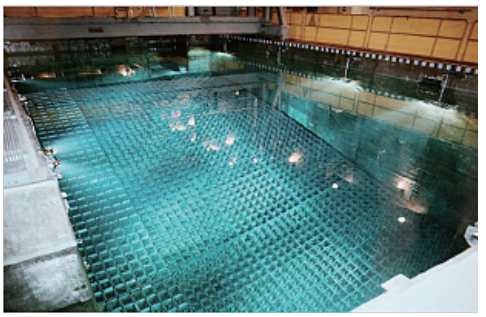
과 방사성폐기물 관리사업자인 한국원자력환경공단이 있다. 과기부는 사용후핵연료 관리에 관한 연구개발 사업계획 수립 및 추진을 담당하고 있으며 연구개발은 주로 한국원자력연구원에서 수행하고 있다. 원안위는 사용후핵연료 안전 규제 및 감독을 담당하고 있으며 한국원자력안전기술원과 한국원자력통제기술원이 그 산하에 있다.

2. 국내 사용후핵연료 현황

서론에서 언급한 대로, 우리나라는 현재 부지내저장시설에 사용후핵연료를 임시로 저장하고 있다. 부지내저장시설은 사용후핵연료 발생자가 관리사업자에게 인도하기 전까지 원전 내에서 저장하는 것을 의미하며, 원자력안전법 제20조에 따라 관계시설로 허가받아 운영되고 있다. 부지내저장시설은 [그림 2]와 같이 습식저장시설과 건식저장시설로 분류할 수 있다. 습식저장시설은 물로 사용후핵연료의 열과 방사선량을 낮추는 시설로써 모든 가동 원전에 설치되어 있다. 건식저장시설은 두꺼운 콘크리트 구조물로 효과적으로 방사선을 차폐하고 자연대류에 의한 공기 냉각을 통해 사용후핵연료를 안전하게 저장 관리하는 시설이다. 국내에는 월성원전본부에 1992년 완공된 사일로와 맥스터가 운영 중이다.

중간저장시설은 사용후핵연료 관리사업자가 발생자로부터 사용후핵연료를 인수하여 처리 또는 영구처분을 하기 전까지 일정 기간 안전하게 저장하는 시설을 의미한다.

[그림 2] 습식저장시설(왼쪽)과 건실저장시설(오른쪽)



출처: 산업통상자원부, 한국원자력환경공단(2022)

이와 관련하여 원안위 고시(사용후핵연료 중간저장시설의 구조 및 설비에 관한 세부기술기준)가 2016년 1월에 최초 제정된 바 있으나, 국내에서 중간저장시설이 건설된 바는 없다. 고준위방사성폐기물 최종처분시설은 사용후핵연료를 지하 깊은 곳(500~1,000m)에 처분하여 인간의 생활권으로부터 영구 격리하는 시설이다. 국내에서는 후술할 여러 차례 처분부지를 확보하려는 시도만 있었을 뿐 실제 건설하거나 운영한 사례는 없다.

국내 사용후핵연료는 2022년 4분기까지 경수로 원전에서 21,035다발, 중수로 원전에서 497,862다발이 발생하였으며, 이 중 175,337다발이 습식저장시설에, 343,560다발이 월성 건식저장시설인 사일로와 맥스터에 저장되어 있다(한국수력원자력, 2022). 제10차 전력수급기본계획이 발표됨에 따라 국내 원전 본부별 사용후핵연료 예상 발생량은 [표 1]과 같이 2021년 12월 발표된 제2차 고준위방사성폐기물 관리 기본계획(산업통상자원부, 2021)에 기술된 제9차 전력수급기본계획에 따른 사용후핵연료 예상 발생량보다 159,000다발가량 추가 발생할 것으로 전망하고 있다.

최근 한국방사성폐기물학회는 사용후핵연료 예상 발생량이 기존 예측치보다 늘어난다는 분석 결과를 발표하였다. [표 2]에서 볼 수 있듯이 부지내저장시설의 포화시기가 기존 제2차 고준위방사성폐기물 관리 기본계획에 적시된 포화시기보다 1~2년가량 앞당겨질 예정이다. 원전 부지 내 저장시설의 포화는 원전의 가동중단으로 이어질 수밖에 없다.

[표 1] 원전 본부별 사용후핵연료 예상 발생량 (단위: 다발)

	기본계획	재산정
고리(경수로)	10,253	12,290
한빛(경수로)	10,660	13,051
한울(경수로)	18,740	27,401
새울(경수로)	15,260	15,660
신월성(경수로)	3,565	3,633
월성(중수로)	576,851	721,920
합계	635,329	793,955

출처: 산업통상자원부(2021, 2023a)

[표 2] 원전 본부별 예상 포화시점

	기본계획	재산정
고리(경수로)	2031년	2032년*
한빛(경수로)	2031년	2030년
한울(경수로)	2032년	2031년
새울(경수로)	2066년	2066년
신월성(경수로)	2044년	2042년
월성(중수로)	-	2037년

주: *고리 2호기의 습식저장시설에 추가적인 조밀저장대를 설치하지 않으면 2028년에 포화가 예상된다.
출처: 산업통상자원부(2021, 2023a)

3. 국내 사용후핵연료 관련 기술 현황

현재 산업부와 과기부를 중심으로 사용후핵연료 관리와 관련된 연구개발이 수행되어왔다. 산업부의 경우, 2009년부터 2022년까지 사용후핵연료 운반·저장 분야 등을 중심으로 연구개발을 수행하였고, 사용후핵연료 운반·저장 시스템에 대한 설계 기술 확보, 안전성시험 검증 종합시스템 구축, 국내 고유 운반저장 시스템 개발 및 상용화 등을 통해 경수로 사용후핵연료 수송저장시스템을 개발하였다. 또한 2010년부터 2014년 기간에는 우리나라의 정량적인 지질 및 심부 환경 자료를 확보하였고 사용후핵연료 처분시설 확보를 위한 한반도 지질 데이터베이스(DB)를 구축하였다.

과기부의 경우, 1992년부터 2020년까지 사용후핵연료 처분과 관련한 기초 연구를 시작으로 지하처분연구시설(KURT) 구축, 심층처분시스템(KRS) 개발, 처분시스템 성능평가모델 개발 등을 수행하였다. 이후 선진핵연료주기(파이로-소듐고속로 연계시스템)에서 발생하는 폐기물의 심층처분시스템(A-KRS)과 프로세스 기반 종합성능평가체계(APro) 설계 등 처분 전반에 관한 연구개발을 수행하였다. 위와 같이 기존에는 사용후핵연료 관리와 관련한 기술개발은 부처별로 기초 및 개념연구에 한정되어 수행되어왔다. 현재는 사용후핵연료 관리 기본계획 및 국내외 환경변화에 따른 사용후핵연료 관리정책의 적기 이행과 안전한 관리기술 확보를 위해 과기부, 산업부, 원안위 등 3개 부처가 다부처 공동 예타사업으로 2021년부터 2029년의 기간 동안 "사용후핵연료 저장·처분 안전성 확보를 위한 핵심기술개발" 사업을 수행하고 있다. 부처 간 역할 분담은 [표 3]과 같

[표 3] 다부처 공동 예타사업 부처 간 역할 분담

부처	역할
과기부	안전 처분을 위한 단계별 기술 및 안전성 실증기술 개발
산업부	저장시스템 안전성 실증 및 인허가 DB 구축
원안위	심층처분 관련 규제요건 및 검증기반 확보

[표 4] 단계별 파이로프로세싱 연구수행 내용 요약

단계	목표 및 주요 연구 내용
소규모 과제 중심 기초 연구('97~'06년)	• 금속 전환 공정 중심의 실험실 규모 차세대 사용후핵연료 관리 및 이용 기술개발 • 장수명 핵종의 분리·회수·소멸 처리 및 폐용융염 처리 기술 개발
공학 규모 공정개발 ('07~'11년)	• 사용후핵연료 건식 재가공 핵심 공통 요소기술 개발 및 공학 규모(PRIDE) 파이로 공정 장치 개발/구축 수행 ※ 모의물질 검증을 위한 PRIDE 설계('07~'08년), 구축('09~'12년 6월), 운영('12년 7월 이후) • PRIDE 성능평가를 통한 파이로 실증시설 설계요건 확립 연구 수행 및 파이로 시설의 안전조치 분석기술 개발
기술 타당성 검증 (한미공동연구) ('11~'20년)	• 실제 사용후핵연료 실험을 통해 파이로 기술의 타당성 검증 • 핵심 공정기술 국내 개발 및 기존 시설을 이용한 기술 성능 검증 • 파이로 기술의 타당성(기술성/경제성/핵비확산성) 검증에 집중하여 기술개발 수행

다.

동 기술개발 사업의 목적은 사용후핵연료 관리기술 개발단계 중 최종처분을 위해 필수적인 지하연구시설(Underground Research Laboratory)에서의 처분시스템 성능과 안전성 실증에 필요한 사용후핵연료 저장·처분 핵심 솔루션 개발 및 관리 기반 확보에 있다. 세부적으로는 실제 처분환경과 동일한 URL에 한국형 심층처분시스템의 장기안전성 실증에 필요한 모든 핵심 기술을 확보하고 URL에서의 실증방안 제시, 실규모의 공학적 방벽 제작 기술, URL에 설치 기술, URL에서 데이터 획득 기술 등을 개발하고 있다.

과기부에서는 사용후핵연료의 재활용 및 부피 저감을 위해 건식 처리 기술인 파이로프로세싱(이하 파이로)에 대한 기술 개발을 진행한 바 있다. 국가연구개발계획에 따라 1997년부터 사용후핵연료 처분 부담 경감과 재활용을 위하여 파이로와 소듐냉각고속로(SFR)에 관한 연구를 수행하였으며 단계별 수행된 주요 연구내용을 요약하면 [표 4]와 같다.

지난 10년간(2011~2020) 파이로-SFR 한미공동연구 결과를 정리한 JFCS(Joint Fuel

Cycle Study) 10년 보고서가 발간되었고 사용후핵연료 관리정책 재검토위원회(이하 재검토위)의 권고에 따라 국회 협의를 거쳐 사용후핵연료 처리기술 연구개발 적정성 검토위원회(이하 적정성 검토위)를 구성하여 운영하였다. 2021년 9월부터 12월까지의 적정성 검토위는 파이로-소듐냉각고속로를 연계한 사용후핵연료 처리기술은 기술성·안전성·핵비확산성을 갖춘 사용후핵연료 관리기술로서 가능성이 있다고 판단하였다. 다만, 경제성에 대한 객관적인 평가, 처분 안전성 증대가 가능한 고화체 연구, 인허가를 위한 연구 등에 대해서는 지속적인 연구개발이 필요할 것으로 보인다.

III. 해외 사용후핵연료 관리 현황

1. 해외 사용후핵연료 관리시설 현황

현재 전 세계적으로 400기가 넘는 원전이 가동 중이며, 사용후핵연료가 지속적으로 발생되고 있다. [표 5]에서 볼 수 있듯이 약 39만 톤의 사용후핵연료가 발생하였고 재처리된 약 13만 톤을 제외하면 약 18만 톤이 습식저장시설에 보관되고 있으며, 나머지 8만 톤가량이 건식저장시설에 보관 중이다. 현재 저장 중인 사용후핵연료는 국가별 사용후핵연료 정책에 따라 [그림 3]과 같이 57% 정도가 직접처분이 될 것으로 예측된다.

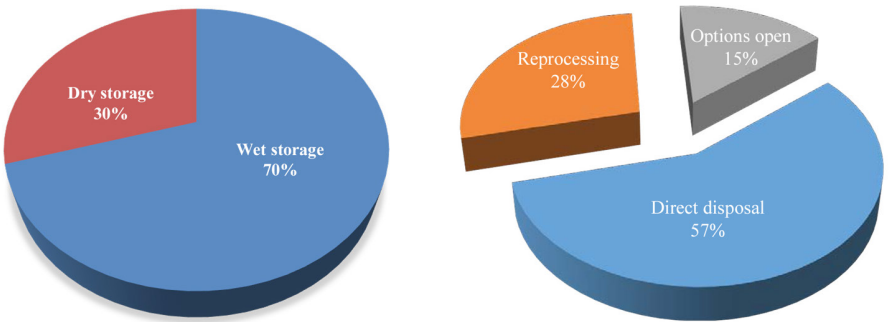
전 세계적으로 원전을 운영하는 나라는 33개국이다. 이 중 24개국이 건식저장시설을 건설 및 운영 중이고, 미국, 프랑스, 중국, 스웨덴 등 12개국이 재처리시설 내 저장시

[표 5] 2016년 전 세계 사용후핵연료 재고량 (단위: t HM)

지역	습식저장	건식저장	재처리	처분	계
아프리카	950	50	-	-	1,000
아메리카	83,500	52,500	600	-	136,500
아시아	35,500	6,500	8,500	-	51,000
유럽	63,500	20,500	117,500	-	201,500
오세아니아	1	-	1	-	1
전 세계	183,500	80,000	127,000	-	390,000

출처: IAEA(2022)

[그림 3] 사용후핵연료 저장 현황(왼쪽)과 관리 전략별 비중(오른쪽)



출처: IAEA(2022)

[표 6] 주요 원전운영국 중간저장시설 및 처분시설 현황

국가	중간저장시설	처분시설	국가	중간저장시설	처분시설
한국	부지선정 전		캐나다	-	부지선정 중
미국	부지확보 후 건설허가 중 * Texas, New Mexico	부지확보 후 사업 중단	영국	Sellafield, Dounreay * 재처리시설 내 위치	부지선정 중
프랑스	La Hague * 재처리시설 내 위치	부지확보 후 건설허가 중 * Meuse, Haute-Marne	스페인	부지확보 후 건설허가 중 * Villra de Canas	부지선정 전
중국	LNFC * 재처리시설 내 위치	부지확보 * Beishan	스웨덴	CLAB	2022년 인허가 완료 * Osthammar
러시아	MCC, Pa Mayak * 재처리시설 내 위치	부지확보 * Nizhnekansky	체코	-	부지선정 중
일본	Mutsu * 2023년부터 운영 예정	부지선정 중	핀란드	-	2025년 운영예정 * Olkiluoto
독일	Gorleben 등 3개	부지선정 중	스위스	Zwilag	부지선정 중 * Nördlich Lägern 제안

출처: 산업통상자원부(2023b)

설 등을 포함한 중간저장시설을 운영 중인데 처분시설을 운영하는 나라는 아직까진 없다(산업통상자원부, 2023b). 해외 주요 원전운영국의 중간저장시설 및 처분시설 현황은 [표

6]과 같다.

2. 국가별 사용후핵연료 처분 현황

가. 핀란드

핀란드 처분사업의 관리 체계를 간략히 정리하자면(함철훈, 장윤석, 2018), 핀란드 처분사업의 주요 관리기관은 고용경제부이며, 처분사업의 시행기관은 1995년에 설립된 Posiva이다. 총체적인 처분 관련 연구의 관리는 Posiva에서 주관하나 대부분 핀란드 기술연구센터(VTT) 등의 연구기관, 대학, 컨설턴트 회사 등에 위탁하는 형태로 진행되고 있다. 안전규제의 경우 방사선·원자력안전센터(STUK)가 담당하고 있으나 고용경제부 또한 안전 규제에 관한 일부 역할이 부여되어 있다. 사용후핵연료의 최종처분이 완료된 이후 폐기물에 관한 모든 관리의 책임은 국가에게 있다고 규정하고하고 있다.

핀란드의 부지조사 및 확보 연혁은 다음과 같다(홍수연 외, 2019). 핀란드는 1983년부터 1985년까지 부지 확인 조사를 수행하였다. 선정된 예비부지 중 지자체 동의를 얻은 지역에 대해 1986년부터 1992년까지 시추조사 등의 예비부지특성조사를 시행하였고, 1993년부터 2000년까지는 예비부지특성조사를 통해 선정된 3개 부지와 원전이 위치한 로비사 부지에 대해 상세한 부지특성조사를 시행하였다. 부지평가를 통해 올킬루오토를 최종 후보 부지로 선정하여 부지 확정을 위한 원칙 결정 절차를 신청하였고, 2001년 국회 승인에 따라 올킬루오토가 최종 후보 부지로 확정되었다. 이후 2004년에 올킬루오토 부지에 ONKALO 지하연구시설 건설을 착수하였고 여러 실증 시험을 시행하였다. 그 결과를 바탕으로 2012년 처분장 건설 허가를 신청하였고 STUK의 안전성 평가 허가에 따라 정부가 2015년 11월에 건설 허가를 승인하였다. 2016년 12월 처분장 건설을 시작한 후 2019년 6월 처분용기 포장시설 건설을 착수하였고, 2021년 5월 처분터널 굴착을 착수하였으며, 2021년 12월 포장시설과 처분시설에 대한 운영 허가 신청서를 제출하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 핀란드는 2025년 처분장 운영을 목표로 하고 있다.

나. 스웨덴

스웨덴 처분사업의 관리 체계는 다음과 같다(함철훈, 장윤석, 2018). 스웨덴 처분사업의 관리기관은 환경부이며, 처분사업 주체는 스웨덴 핵연료·폐기물관리회사(SKB)이다. SKB

는 사용후핵연료의 집중식 중간저장시설(CLAB)과 원자력발전소에서 발생한 중·저준위방사성폐기물 처분장(SFR) 또한 운영하고 있다. 규제행정기관으로는 환경부 관할의 방사선안전기관(SSM)이 있으며, 원자력 이용으로 인해 발생하는 방사성폐기물에 대해서는 독립적인 평가를 수행하는 자문조직으로 환경부 산하의 방사성폐기물평의회를 두고 있다.

SKB(SKB, 2023)와 문헌(고용권 외, 2008) 등에 따르면 스웨덴은 1970년대부터 개략적인 부지조사를 시행하여 자국의 지질 데이터베이스를 구축하였다. 1992년부터 본격적으로 고준위방사성폐기물 처분장 부지선정에 나선 스웨덴은 모든 지자체에 타당성 조사 입후보를 의뢰한 후 지자체 의회 승인을 얻은 지자체의 8개 지역에 대해 2001년까지 부지 타당성 조사를 시행하였다. 부지 타당성 조사는 지질, 토지이용, 사회적 조건 등의 문헌조사를 의미하여 이를 통해 3개 부지를 선정하여 예비부지특성조사를 시행하였다. 지자체 의회의 승인을 받은 Oskarshamn 부지와 Östhammar 부지에 대해 상세부지특성조사를 2002년부터 2007년까지 수행하였으며, 2009년 6월 Östhammar의 Forsmark를 처분부지로 선정하였고 2011년 3월에 처분장 건설에 대한 인허가를 신청하였다, 구리 처분용기의 격납 성능에 대한 학술적 논의가 수차례 이어진 후 최종적으로 2022년 1월 건설 인허가를 획득하였다.

다. 프랑스

프랑스 처분사업 관리 체계(함철훈, 장윤석, 2018)의 경우, 관리기관은 정부와 의회이며, 실제 전담기관은 1991년 제정된 방사성폐기물관리연구법(Bataille, 바타유법)으로 지정된 방사성폐기물관리기관(ANDRA)이다. 프랑스의 경우 ANDRA는 처분기술이나 안전성 평가 등에 관한 연구를 진행하고 있으며 ANDRA를 중심으로 원자력·대체에너지청(CEA), 지질·광산연구소(BRGM) 등의 국내외 연구기관과 협력하면서 연구개발을 진행중이다. 사용후핵연료 처분과 관련된 규제행정기관은 대통령 직속 기관인 원자력안전청(ASN)이며, 국가평가위원회(CNE)와 의회에 소속된 과학기술선택위원회(OPECST)가 기술적인 검토를 수행하면서 정부와 의회의 관련 정책 결정에 기여하고 있다.

프랑스의 처분부지 선정 과정의 경우(함철훈, 장윤석, 2018; 이정환 외, 2017), 1987년에 부지선정을 위한 광역조사계획을 수립하고 부지선정을 추진하였으나 1990년 정당과 대중의 반대로 중단되었다. 이후 '사용후핵연료 관리기술 연구개발'을 위한 바타유법이 제정되면서 1994년 예비지질평가를 통해 3개 부지가 지하연구시설 부지로 제안되었으

며, 1999년 Meuse/Haute-Marne 지역의 Bure 부지의 점토층에 지하연구시설을 건설하는 것이 허가되었다. Bure 부지의 심도 490m에 위치한 지하연구시설은 2000년에 건설을 시작하여 처분장 설계 및 건설, 처분공 밀봉, 암반 손상대 영향, 천연방벽 격리 성능평가, 회수 기술, 운영 기술 등에 관한 연구가 진행되었다. 2009년 지하연구시설이 위치한 Bure 부지를 고준위방사성폐기물 처분을 위한 최종 후보 부지로 제안하였으며 2023년 초 최종처분장 건설을 위한 인허가 서류가 제출되었다.

라. 스위스

스위스의 사용후핵연료 처분사업 관리(함철훈, 장윤석, 2018)는 환경·운수·에너지·통신부(UVEK)와 UVEK 관할 행정기관인 연방에너지청(BFE)에서 담당하며 실제 사업 주체는 방사성폐기물 관리공동조합(NAGRA)이다. 스위스의 안전규제는 UVEK 관할의 연방원자력안전검사국(ENSI)가 담당하고 있으며 심층처분장 전문가그룹(EGT), 원자력안전위원회(KNS) 등이 자문기관으로 존재하고 있다.

스위스는 사용후핵연료 처분시설 부지 선정을 위한 기술적 기준을 마련하고 지질학적으로 부적합한 부지를 우선적으로 제외하였다. 1978년부터 실시한 지질조사를 통해 스위스 북부 오팔리누스(Opalinus) 점토층을 가장 적합한 지역으로 판단하였다. 후보지역으로 스위스 북부의 뇌르틀리히 레게렌, 쥐라 동부, 취리히 북동부 지역이 제안되었으며 국립연구기관인 파울쉐러연구소(PSI)와의 긴밀한 협력으로 2곳의 지하연구시설에서 수행한 방대한 연구자료를 통해 사용후핵연료 처분시설의 성능을 검증하였다. 최종적으로 NAGRA는 2022년 최종적으로 뇌르틀리히 레게렌을 최종후보부지로 정부에 제안하였다.

마. 미국

미국의 사용후핵연료 처분사업 체계(함철훈, 장윤석, 2018)의 경우, 실시 주체는 연방정부의 에너지부(DOE)로 정해져 있다. 방사성폐기물정책법 제304조에 따라 DOE 내부에 설치된 민간방사성폐기물관리국(OCRWM)이 처분사업의 주체였으나, 오바마 전 정권의 유카산 계획의 중단 방침에 따라서 OCRWM이 폐지되었고 DOE 원자력국(NE)이 그 책임을 계승하였다. 관련 규제는 원자력규제위원회(NRC)와 환경보호청(EPA)가 담당하고 있으며, 방사성폐기물정책법에 의거하여 기술 측면에 대한 독립적인 평가기관으로 방사성폐기물기술심사위원회(NWTRB) 설치를 규정하고 있다.

미국은 1987년 방사성폐기물정책법의 개정을 통해 유카산(Yucca Mountain)을 사용후핵연료 처분부지로 지정하였다. 이후 부지조사 및 평가를 통해 2008년 처분장 건설 허가를 신청하였으나, 2009년 오바마 정부에 의해 유카산 처분 프로젝트가 백지화되었고, 이후 블루리본위원회가 조직되어 사용후핵연료 정책에 대한 대안을 마련하였다. 블루리본위원회는 2012년 8개 주요 사항을 권고하였고, 권고안에 따라 사용후핵연료 관리에 관한 연구개발에 집중하였다. 2017년 미국 의회는 방사성폐기물정책법 개정안을 발표하여 유카산 처분사업이 가장 효율적이고 효과적인 방안임을 명시하여 2025년 집중식 중간저장시설 운영, 2026년 처분부지 선정, 2042년 처분장 설계 및 인허가 완료, 2048년 처분장 운영 등의 마일스톤을 제시하고 있다.

IV. 국내 사용후핵연료 관리 미래 전망

1. 국내 사용후핵연료 처분부지 확보 시도

국내에서는 1984년 처분장 원전 부지 외부 건설, 정부 주도 방사성폐기물 비영리기관 설치, 관리비용 발생자 부담 등이 포함된 방사성폐기물 관리대책이 수립한 이후 사용후핵연료 관리시설 부지선정 시도가 9차례 있었다(산업통상자원부, 2023a; 한국원자력환경공단, 2023). 초기에는 중저준위방사성폐기물과 사용후핵연료를 동일 부지에 처분하는 계획을 수립하여 추진하였고, 이를 바탕으로 1986년 원자력법 개정을 통한 법적 기반을 마련하여 3차례의 부지확보 시도가 진행되었다. 1986년부터 1989년까지 경북 울진, 영덕, 영일 등 3개 후보 지역이 선정되었으나 지역 내 반대로 사업이 중단되었고, 1990년부터 1991년까지는 충남 안면도에 원자력 제2연구소 설치와 함께 관리시설 건설을 추진하였으나 주민과의 사전협의 없이 비공개 진행이 알려지면서 주민의 반대로 사업이 백지화되었다. 1991년부터 1993년까지는 44개 신청지역 중 7개 후보 지역을 도출하였고 서울대에서 관련 용역을 수행하여 강원 고성·양양, 경북 울진·영일, 전남 장흥, 충남 태안 등 7개 임해지역을 추천 지역으로 선정하였으나 안면도 포함 사실이 알려지면서 반대운동이 확산되면서 사업이 철회되었다.

이에 정부는 1994년 “방사성폐기물 관리사업의 촉진 및 그 시설 주변지역 지원에 관한 법”을 발효하였고 유치지역 지원에 관한 법적 근거를 마련하여 6차례의 부지확보

시도를 진행하였으나 모두 실패하였다. 1994년 장안읍, 울진군이 유치신청서를 제출하였으나 지역주민의 반대로 무산되었고, 1994년부터 1995년 기간 동안 서울대 용역으로 10개 후보 지역 선정 후 굴업도를 단일 후보 지역으로 선정하였으나 활성단층의 발견으로 취소되었다. 1997년부터 2001까지는 영광, 강진, 진도, 고창, 보령, 완도, 울진 등 7개 지역이 유치 청원을 하였으나 자진 철회, 지방의회의 기각 등으로 최종 선정에 실패하였고, 2001년부터 2003년 기간에는 울진, 영덕, 고창, 영광 등 4개 후보 지역을 선정하였으나 지역주민들의 반발로 계획을 철회하였다. 2003년에는 부안군 위도 주민들이 유치청원서를 제출하였으나 부안군의회에서 부결하였고, 군의회 부결에도 불구하고 부안군수와 부안군의회 의장이 유치신청서를 제출하였으나 군내 격렬한 반대로 유치에 실패하였다. 2004년에는 7개 시, 10개 군 지역에서 유치신청을 하였으나 지역 내 갈등 우려로 예비신청을 포기하였다.

부지확보 절차의 거의 모든 사례에서 지역주민의 동의를 얻지 못하는 상황이 반복되었고, 결국 2004년 중저준위방사성폐기물과 고준위방사성폐기물을 분리하여 확보하는 방향으로 정책이 변경되었다. 또한 2005년 "중저준위방사성폐기물 처분시설의 유치지역 지원에 관한 특별법" 제정을 통해 입지 지역에 대한 지원을 명문화하여 지역주민 수용성을 높이고자 노력하였다. 이에 따라 사전부지조사 시행 후 경주, 군산, 영덕, 포항이 유치신청서를 제출하였으며, 주민투표를 시행하여 경주지역이 최종 확정되었다. 당시 주민 찬성률은 경주 89.5%, 군산 84.4%, 영덕 79.3%, 포항 67.5%이었다.

정부는 2013년 사용후핵연료 관리대책 수립을 위한 사용후핵연료 공론화위원회를 발족하여 대국민 공론화를 추진하였으며 그 결과를 바탕으로 "사용후핵연료 관리에 대한 권고(안)"(이하 권고안)을 제출하였다. 권고안의 후속 조치로 "고준위방사성폐기물 관리시설 부지선정절차 및 유치지역지원에 관한 법률(안)" 발의(2013년 11월 정부 제출)가 이루어졌으나 임기 만료로 폐기되었다. 산업부는 권고안에 따라 2016년 5월 "고준위방사성폐기물 관리 기본계획(안)"(이하 제1차 기본계획)을 발표하였다. 제1차 기본계획에서는 처분부지 URL, 중간저장시설, 영구처분시설을 하나의 부지에 단계적으로 확보하여 추진하는 정책 방향과 안전 및 경제성을 담보하는 핵심 관리기술의 적시 확보, 관리시설 운영 정보의 상시 공개와 지역주민과의 소통, 유치지역 지원내용 명시 등의 내용을 포함하였다. 이후 제1차 기본계획의 후속 조치로 "고준위방사성폐기물 관리에 관한 특별법안" 발의(2018.7, 더불어민주당 우원식 의원 대표발의)가 있었으나 이도 임기 만료로 폐기되었다.

2017년 7월 문재인 정부는 공론화를 통한 사용후핵연료 정책 재검토를 결정하고 재검토위가 발족하여 21개월간의 활동 결과 "사용후핵연료 관리정책에 대한 권고안"(이하 재검토 권고안)이 제출되었다. 후속 조치로 2020년 12월 산업부에서는 재검토 권고안에 따른 "제2차 고준위방사성폐기물 관리 기본계획(안)"(이하 제2차 기본계획)을 발표하였고, 부지선정 절차 착수 이후 관리시설 부지확보에 Y+13년, 영구처분시설 확보에 Y+37년 등의 내용을 담고 있다. 이에 따르면 2023년에 부지선정 절차가 착수된다면 2060년에 영구처분시설을 확보하게 된다. 추가 후속 조치로 사용후핵연료 관리시설에 관한 특별법안 3개("고준위 방사성폐기물 관리에 관한 특별법안", 김성환 의원 대표발의, 2020.9, "고준위 방사성폐기물 관리시설 등에 관한 특별법안", 김영식 의원 대표발의, 2022.8, "고준위 방사성폐기물 관리 및 유치지역 지원에 관한 특별법안", 이인선 의원 대표발의, 2022.8)가 차례로 발의되었으며, 2023년 5월 기준 국회 해당 상임위 법안소위에서 관련 특별법에 대한 병합심의가 진행되고 있다.

2. 사용후핵연료 관리시설의 사회적 수용성 확보 방안

우선, 과학기술적 관점에서 사용후핵연료 처분시설의 안전성과 처분부지의 장기 안정성을 최우선적으로 확보하여야 한다. 다만, 과거 9차례에 걸친 처분부지 선정의 실패 사례에서 볼 수 있듯이 사용후핵연료 관리시설을 확보하고 운영하기 위해서는 사회적 수용성이 무엇보다도 중요하다. 사회적 수용성 확보를 위해서는 최소 2가지 전제조건이 필요하다. 첫째, 관리시설 부지확보 및 운영 방안을 담은 특별법 제정과 둘째, 사용후핵연료 관리를 담당하는 독립적인 전담 행정기관의 설립이다.

관리시설 부지확보 및 운영 방안을 담은 특별법 제정은 정책의 일관성, 연속성, 예측 가능성을 부여하는 법적 근거이자 국가가 국민에게 안전하고 책임감 있는 사용후핵연료 관리를 약속할 수 있는 유일한 수단이다. 법 제정을 통해 유치지역에 대한 지원방안을 제시하는 것은 사용후핵연료 관리시설 운영을 위한 첫 단계이고 처분부지 선정 및 확보 과정에서 지역주민의 수용성을 확보할 수 있다는 것을 경주 중저준위방사성폐기물처분장 부지확보에서 경험한 바 있다. 나아가 특별법에 지방자치단체들의 자발적인 신청, 주민 동의를 통한 최종 결정권 등과 같이 처분장 부지확보에 성공한 핀란드, 스웨덴 등에서 적용한 부지선정 절차를 명시한다면 더욱더 투명하고 설득력 있는 부지선정 절차를 진행할 수 있을 것이다. 프랑스, 미국, 독일 등의 국가에서는 관리시설 부지확보 시점 및 운영 시점이 법안에 명시되어 있으며, 이와 같은 마일스톤을 특별법에 지정하

는 것 또한 관리사업의 원활한 진행 및 부지내저장시설의 영구화를 우려하는 원전 부근 주민들의 수용성 증진에 도움이 될 것이다.

사용후핵연료 관리는 운반, 저장, 처분 등 광범위한 분야를 아우르며, 장기적인 관점에서의 연구·사업 계획 수립 및 실행이 필요한 업무이다. 현재 국내에서는 산업부와 과기부가 관련 업무를 분산하여 수행하고 있는 상태로, 오랜 기간 일관성 및 연속성 있는 관리 체계의 마련에 독립적인 전담 행정기관의 설립이 필요하다. 독립적인 행정기관 설립 시 효율적인 업무 분장 및 협력체계 구축이 가능할 것이며, 국민적 수용성과 함께 기술적·사회적 측면을 종합할 수 있는 정책 결정 체계를 구축하여 더욱더 안전한 사용후핵연료 관리가 가능할 것이다. 이는 재검토위에서 시민참여형 조사 등을 비롯한 다양한 프로그램을 통해 도출된 재검토 권고안에서도 권고된 사안이며 산업부의 제2차 기본계획에도 포함된 사안이다. 사용후핵연료 관리를 전담하는 기관이 유명무실한 형태로 전락하지 않기 위해서는 반드시 전문성, 독립성, 책임성 및 행정력이 확보된 형태로 설립되어야 할 것이다. 장기적인 관점에서 사용후핵연료 관리만을 전담하며 안전한 관리 등 제반 사항을 총괄적으로 다루는 관리기관이 설립되어 운영된다면 지속적인 국민과의 소통을 통해 최종처분 부지선정 절차 등 사용후핵연료 관리에 대한 국민의 신뢰를 확보하는 데 기여할 수 있을 것이다.

V. 결론

원자력은 1950년대 이후 원자력의 평화적 이용이라는 가치 아래 안전하고 안정적이며 경제적인 전력 생산을 책임져왔고 과학기술 및 산업 발전뿐만 아니라 경제 성장을 통한 인류의 삶의 질 향상에 기여해왔다. 앞으로도 원자력은 국가 에너지 안보와 탄소중립을 달성하는 데 핵심적인 역할을 할 것으로 기대된다.다만, 원자력은 사용후핵연료라는 숙제를 안고 있다. 세계 주요 원전가동국은 사용후핵연료 처분부지를 확보하고자 노력하고 있고 핀란드, 스웨덴, 프랑스 등은 처분에 적합한 부지확보를 위한 심지층 환경 조사, 지역주민 수용성 확보를 위한 일관되고 지속적인 노력을 통해 최종처분장 건설 및 운영을 눈앞에 두고 있다.

원자력 강국인 우리나라는 어떠한가? 우리나라는 꾸준한 연구개발을 통해 사용후핵연료 관리기술을 발전시키고 있음에도 과거 40년 동안 지역주민 수용성 부재로 인해

처분부지를 확보하는 데 실패를 거듭하고 있다. 사용후핵연료 문제의 해결은 여전히 요원하고 한 걸음도 나아가지 못하고 있다. 우리 정치권은 고도의 과학기술적인 사안인 사용후핵연료 문제를 안타깝게도 정치 진영 논리에 갇혀 사용후핵연료 문제를 관성적으로만 바라보고 대응하고 있다. 정치권의 정치력 부재로 제자리걸음을 하는 사이 원전 부지내 사용후핵연료 저장시설의 포화는 코앞으로 성큼 다가오고 있다. 사용후핵연료의 저장 공간을 확보하지 못하면 결국 원전 가동을 중단해야 할 상황이다.

국민과 미래 세대가 사용후핵연료에 대해 걱정 없이 안전하게 삶을 영위할 수 있도록 사용후핵연료 처분부지를 하루빨리 확보하여야 한다. 고준위방사성폐기물 관리에 관한 특별법 제정이 국민과의 소통의 시작이고 국가가 국민에게 드리는 최소한의 약속이다. 원자력의 혜택을 누리는 현세대가 미래 세대에게 사용후핵연료 문제를 떠넘기지 않기를 바란다.

참고문헌

고용권, 김건영, 김경수, 박경우, 배대석, 지성훈, “해외 고준위 방폐장 부지선정 현황 분석”, 한국원자력연구원, 2008.

산업통상자원부, “제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획”, 산업통상자원부, 2021.

산업통상자원부, “사용후핵연료 저장시설 포화시점 1~2년 단축 전망”, 산업통상자원부, 2023a.

산업통상자원부, “고준위방사성폐기물(특별법, 건식저장시설) 참고자료”, 산업통상자원부, 2023b.

산업통상자원부, 한국원자력환경공단, “사용후핵연료, 필수적이고 귀중한 정보집”, 산업통상자원부, 2022.

이정환, 윤정현, 김수진, 김승현, 성기열, 이선정, “프랑스 고준위방폐물 부지선정에서 지하연구시설의 역할”, 『한국자원공학회지』 제54권 제4호, 2017, pp. 358-366.

한국수력원자력, “원자력발전소별 사용후핵연료 저장현황”, 한국수력원자력, 2022.

한국원자력환경공단, 방폐물 관리사업 〈http://www.korad.or.kr〉, 2023(검색일: 2023.4.27.)

함철훈, 장윤석, 『사용후핵연료론』, 화산미디어, 2018.

홍수연, 권새하, 민기복, 박의섭, “핀란드의 사용후핵연료 지층처분 현황 및 암반공학 관련 연구 소개”, 『터널과지하공간』 제29권 제4호, 2019, pp. 215-229.

IAEA, “Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management,” IAEA Nuclear Energy Series, 2022.

SKB, News 〈https://www.skb.com〉, 2023(검색일: 2023.4.27).