# 2024 상반기 유럽 선진원자력 시스템 및 폐기물 관리 연구 및 정책 동향

작성자: 김경원(차세대 원자력 분야 KERC 서포터즈)

2011년 후쿠시마 원전 사고 이후 탈원전 기조가 강했던 유럽권에서 최근 안정적인 전력공급 및 탄소중립의 필요성으로 인해 다시 친원전으로 회선하는 움직임에 따라 유럽 각국의 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물 및 사용후핵연료는 기존보다 더욱 증가할 것으로 예상된다.
이에 **세계 최초로 사용후핵연료 심층 영구처분시설인 ONKALO 운영을 앞둔 핀란드, 핀란드에 이어 영구처분시설 KBS-3를 건설 중인 스웨덴, 사용후핵연료 재처리 후 발생하는 고준위 방사성폐기물 처분에 있어 선두 주자인 프랑스에서의 방사성폐기물 발생 현황 및 전망**을 확인하고 각 나라에서 안전한 방사성폐기물 관리를 위한 정책 동향을 확인하였다.
하지만 사용후핵연료 처분시설의 필요성과 비교했을 때 **아직까지 사용후핵연료 처분 시설에 대한 정책 및 연구 진행이 미흡한 유럽 국가들이 더 많은 실태**임을 확인하였으며, 유럽권뿐 아니라 전 세계적으로 사용후핵연료 관리 및 처분시설 확보에 연구, 정책이 더욱 필요할 것으로 전망한다.

<Key words> 방사성폐기물, 유럽원자력공동체, 핀란드, 스웨덴, 프랑스

## 1. 유럽의 선진원자력 시스템 및 폐기물 관리 연구 동향

### □ 유럽 방사성폐기물 발생 현황 및 전망

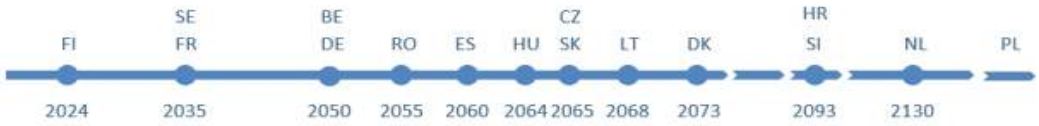
#### ○ EU[1]

- 2019년 EU 27개국에서 발생한 방사성폐기물은 총 2,334,000 $m^3$이며, 전체의 66%는 처분되었고, 34%는 임시 저장 상태임
- 프랑스에서 발생한 방사성폐기물의 부피는 총발생량의 72%를 차지하고, 독일 9.9%, 스웨덴 4.1%, 스페인 2.9% 순으로 방사성폐기물을 발생함
- 초저준위, 저준위 방사성폐기물의 경우 처분된 방사성폐기물이 늘고, 저장 중인 양은 감소하는 것으로 나타났으나, 사용후핵연료, 고준위 폐기물의 경우 현재 처분 가능한 시설이 운영되지 않고 있어 처분되지 않고 발생 국가에서 임시 저장 중임

1) REPORT FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT on progress of implementation of Council Directive 2011/70/EURATOM and an inventory of radioactive waste and spent fuel present in the Community's territory and the future prospects THIRD REPORT

- 현재 운영 중단이 예정된 원자력발전소 및 원자력 시설로 인해 2030년까지 초저준위 방사성폐기물의 양이 2배로 늘 것으로 예상되며, 다른 종류의 방사성폐기물도 38%에서 73%까지 증가할 것으로 예상
- 중저준위 방사성폐기물 및 사용후핵연료 관리에 있어 현재 운영 중인 처분시설의 부족으로 인해 그 양이 증가하고 있으며, 이를 해결하기 위해 임시 처분시설 및 처분시설을 확보하고자 함

<EU회원국별 심층 처분시설 운영 개시 계획>




## ○ 핀란드[2][3]

- 2019년 기준 핀란드의 원자력발전소에서 발생한 사용후핵연료는 총 2,261tHM으로 원자력발전소 부지 내 임시 저장 시설에 보관 중임
- 중저준위 방사성 폐기물은 원자력 발전소 부지 내 처분시설에 보관 및 처분하고 있음. 2019년 기준 핀란드에서 보관 중인 저준위 방사성폐기물은 1,691$m^3$, 중준위 방사성폐기물은 1,970$m^3$이며, 각각 6,541$m^3$와 2,117$m^3$의 중저준위 방사성폐기물이 처분됨
- Olkiluoto의 저준위 방사성폐기물 처분 사일로(MAJ 사일로)는 65%, Loviisa의 중준위 방사성폐기물 처분 사일로(KAJ 사일로)는 57%가 채워져 있음
- Loviisa의 저준위 방사성폐기물 보관 시설(HJT 1)은 포화된 상태이며, HJT2와 HJT3는 각각 61%, 16%가 채워져 있음
- Olkiluoto, Loviisa의 원자력발전소 운영 허가와 OL3, Hanhikivi 1 원자력발전소의 운영에 따라 2030년에는 약 3,200tHM의 사용후핵연료가 발생할 것으로 예상되며, 2050년에는 약 4,200tHM에 이를 것으로 예상됨
- 2030년, 2050년에 처분될 것으로 예상된 극저준위, 저준위, 중준위 폐기물은 아래 표와 같음

<핀란드 중저준위 방사성폐기물 처분 예상량>

| 방사성폐기물 종류 | 2030년 처분 예상량 ($m^3$) | 2050년 처분 예상량 ($m^3$) |
|---|---|---|
| 극저준위 방사성폐기물 | 2,300 | 6,900 |
| 저준위 방사성폐기물 | 8,761 | 10,661 |
| 중준위 방사성폐기물 | 8,278 | 9,078 |

2) Management of spent nuclear fuel and radioactive waste in Finland Second national programme under Article 12 of Directive 2011/70/EURATOM of the Council of the European Union
3) Member State Report of Finland as required under Article 14.1 of Council Directive 2011/70/EURATOM

### ○ 스웨덴[4][5]

- 2016년 기준 스웨덴에서 발생한 사용후핵연료는 6,758톤으로 모든 사용후핵연료를 습식 방식으로 임시저장하고 있으며, 중저준위 방사성폐기물은 총 52,800 $m^3$가 발생했고 그 중 약 73%인 39,000 $m^3$는 처분되었음
- 2030년, 2050년에 보관 및 처분될 방사성폐기물 및 사용후핵연료의 양은 아래 표와 같음

<2030년, 2050년에 보관, 처분될 방사성폐기물과 사용후핵연료 전망>

| 방사성폐기물 종류 | 2030년 예상치 | | 2050년 예상치 | |
|---|---|---|---|---|
| | 보관량 | 처분량 | 보관량 | 처분량 |
| 극저준위 방사성폐기물 | 2,000 $m^3$ | 52,000 $m^3$ | 0 $m^3$ | 54,000 $m^3$ |
| 단수명 중저준쉬 방사성폐기물 | 30,000 $m^3$ | 60,000 $m^3$ | 5,000 $m^3$ | 140,000 $m^3$ |
| 장수명 중저준위 방사성폐기물 | 12,000 $m^3$ | 0 $m^3$ | 10,000 $m^3$ | 5,000 $m^3$ |
| 사용후핵연료 | 9,500 MTHM | 0 MTHM | 4,000 MTHM | 8,000 MTHM |

### ○ 프랑스[6][7]

- 2019년 기준 프랑스에서 발생한 극저준위 방사성폐기물은 396,000 $m^3$로 Cires 처분시설에 보관되어 있으며 2028년에 포화될 것으로 예상됨
- 중저준위 방사성폐기물은 로브(L'Aube) 처분시설에 보관 중이며, 2016년 기준 344,918 $m^3$의 중저준위 방사성폐기물이 저장됨
- 고준위 방사성폐기물은 2016년 기준 4,086 $m^3$를 임시 저장하고 있으며, 2030년과 2040년에 각각 5,700 $m^3$와 6,900의 고준위 방사성폐기물이 발생할 것으로 예상됨

## 2. 유럽의 선진원자력 시스템 및 폐기물 관리 정책 동향

### □ 유럽 원자력 공동체(Europaische Atomgemeinschaft, Euratom)

4) Safe and responsible management of spent nuclear fuel and radioactive waste in Sweden Notification of the Swedish National Programme under the Council Directive 2011/70/Euratom (National Plan) https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/en/publications/reports/waste-shipments-physical-protection/2015/201532/

5) Swedens third National Report on Implementation of Council Directive 2011/70/Euratom https://circabc.europa.eu/ui/group/d84073d4-cd8f-4c86-b010-e5e4ba2ed899/library/47792277-88e0-4cfc-8fd4-aa776e2cb9b7?p=1&n=10&sort=modified_DESC

6) Plan national de gestion des matieres et des dechets radioactifs 2022-2026 https://circabc.europa.eu/ui/group/d84073d4-cd8f-4c86-b010-e5e4ba2ed899/library/21c20963-f33a-44a0-b83a-9306bfae5a1c?p=1&n=10&sort=modified_DESC

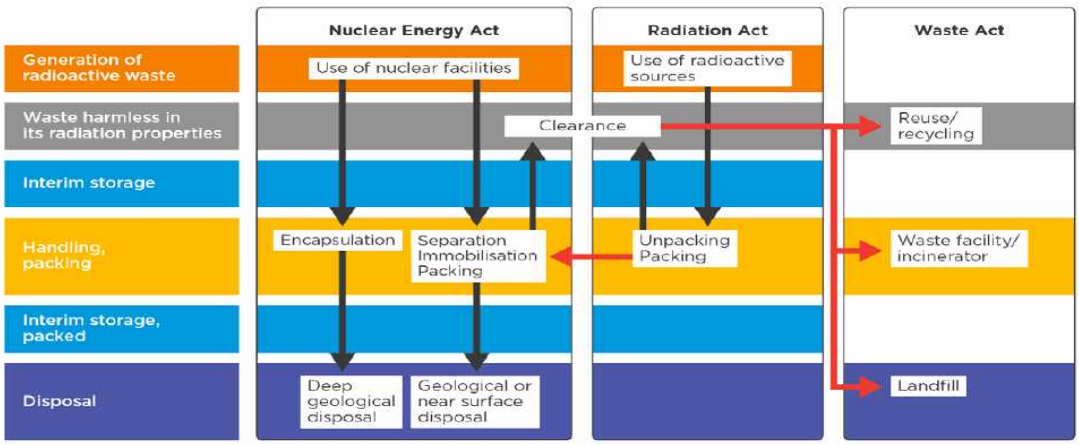
7) France's national report n the implementation of the Directive of 19 July 2011 021 editionhttps://circabc.europa.eu/ui/group/d84073d4-cd8f-4c86-b010-e5e4ba2ed899/library/34bf4fc8-8564-444d-a901-3486336e9fa8?p=1&n=10&sort=modified_DESC

- ㅇ 유럽 원자력 공동체는 유럽에서의 원자력 산업 및 연구를 조정하고 감독하는 조직으로, 1957년에 설립
- ㅇ EU 국가 중 20개국에서는 발생하는 방사성폐기물과 사용후핵연료를 자국 영토에서 관리하고 있으며, 방사성폐기물 및 사용후핵연료 운송에 대한 지침에 따라 EU국가 간 수입, 수출, 운송을 할 수 있음
- ㅇ 모든 EU 국가는 사용후핵연료, 방사성폐기물 관리에 관한 국가 정책 및 프로그램을 수립하고 이행하여야 하며, 모든 유형의 사용후핵연료, 방사성 폐기물에 관한 생성부터 처분까지의 모든 단계에 관리를 요구함
- ㅇ 2015년 8월부터 3년마다 지침 이행에 대한 국가 보고서를 유럽 원자력 공동체에 제출하고 있으며, 이를 바탕으로 EU 공동체에서의 방사성폐기물 및 사용후핵연료의 현황, 미래 전망에 대한 보고서를 작성함
- ㅇ 핀란드, 프랑스, 스웨덴의 경우 심층 처분시설의 건설 및 운영에 있어 상당한 진전을 보이고 있으나, 아직까지 중준위, 고준위 방사성폐기물 및 사용후핵연료의 장기 관리에 대한 국가 정책이 시행이 미비한 EU회원국이 더 많음

## □ 핀란드

- ㅇ 핀란드는 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물과 사용후핵연료를 핀란드 내에서 영구 처분하는 것을 목표로 1983년 방사성폐기물 관리 연구 및 계획에 대한 정책을 발표했음
- ㅇ 1994년 사용후핵연료 수출을 금지하는 법 개정이 이뤄졌으며, 1995년 Posiva Oy가 설립되면서 사용후핵연료 처리 및 영구처분을 위한 연구 및 개발을 담당함
- ㅇ 2000년 Olkiluoto 지역에서 ONKALO 심층 처분 시설 건설을 시작하였으며, 2021년 운영 허가를 신청한 후 2024년부터 운영을 시작할 계획임

<핀란드의 방사성폐기물 발생 및 관리 법안 개요>




## □ 스웨덴

- ㅇ 스웨덴은 원자력 시설의 건설 및 운영에 대한 인허가 및 안전 기준, 방사성폐기물의 안전한 관리와 처분을 규제하는 원자력 활동법을 1984년 제정했으며, 2020년 방사성폐기물 및 사용후핵연료 관리와 관련한 법안을 추가 도입함
- ㅇ 2018년 방사선 방호법을 제정하여 기존의 방사성 방호 관련 규정을 통합하고 EU BSS(European Basic Safety Standards Directive 2013/59/Euratom)를 반영한 새로운 방사성 방호 기준을 도입
- ㅇ 스웨덴의 사용후핵연료, 방사성폐기물 처분은 SKB(Svensk Karnbranslehantering AB, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company)가 담당하고 있으며, 중저준위 방사성폐기물은 SFR 중저준위폐기물 처분장에서 처분 중임
- ㅇ 사용후핵연료는 2022년 스웨덴 정부는 Forsmark에 위치한 심층 처분시설의 건설을 허가함

### □ 프랑스

- ㅇ 프랑스는 1991년 바타이유 법을 채택하면서 방사성폐기물 관리에 대한 구체적인 법적 기반을 마련했으며, 2006년에 제정된 법(No. 2006-739)은 방사성물질 및 방사성폐기물의 지속 가능한 관리를 위한 국가 정책을 설정하고, 방사성폐기물의 양과 유해성을 줄이기 위한 사용후핵연료의 재처리 항목을 포함함
- ㅇ 2006년 법률에 따라 프랑스는 방사성폐기물 관리를 위해 매 5년마다 국가 계획을 수립하고 있으며, 이를 통해 방사성물질 및 방사성폐기물의 관리에 대한 기존 방법 검토, 연구 및 저장 시설의 필요성 재고, 향후 연구 및 기술을 조직하는 역할을 하고 있음
- ㅇ 프랑스의 방사성폐기물 관리 및 처분은 Andra에서 담당하고 있으며, 처분시설의 설계 및 운영을 수행하며 방사성폐기물 관리에 대한 책임을 지고 있음
- ㅇ 방사성폐기물 관리의 안정성을 높이고 국민의 참여를 증진시키고자 2012년, 2016년 주요 관련 법률 및 규정을 개정하였으며, 방사성폐기물 관리에 대한 공론화 절차를 도입

## 3 시사점

- ㅇ 탈원전 기조가 강했던 유럽에서 최근 탄소중립, 안정적인 전력 공급을 이유로 친원전으로 눈길을 돌리며 원자력발전소 운영이 강화될 것으로 전망되고 이에 따라 발생하는 방사성폐기물과 사용후핵연료의 발생은 가속되어 증가할 것으로 예상됨
- ㅇ 사용후핵연료 처분에 있어 각 유럽국가들은 자체적인 방사성폐기물 관리에 대한 정책을 마련하고 있으며, 유럽 원자력 공동체(Euratom)를 조직함으로써 원자력 산업 및 연구뿐 아니라 방사성폐기물과 사용후핵연료에 대해서도 안전하게 관리 감독하고 있으며, 최종적으로 국가별 영구처분시설을 확보하고자 노력 중임

ㅇ 사용후핵연료 영구처분에 있어 선두 주자로 손꼽히는 핀란드에서도 아직 사용후핵연료를 영구처분하는 시설을 정상 운영하지 못하고 있으며, 스웨덴, 프랑스 또한 2030년 이후를 목표로 건설 및 운영을 진행 중임

ㅇ 그럼에도 사용후핵연료 처분뿐 아니라 중저준위, 고준위폐기물 처분에 있어 뒤쳐진 유럽국이 많은 실태이며, 한국에서도 다양한 해외 사례를 통해 심층 영구처분시설 확보를 위한 정책 및 연구를 진행할 필요가 있음