

사용후핵연료,
Spent Nuclear Fuel
필수적이고
귀중한
정보집



산업통상자원부



한국원자력환경공단
KOREA RADIOACTIVE WASTE AGENCY

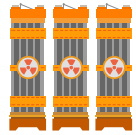
숫자로 보는 고준위 방사성폐기물



우리나라 운영 중
원전 수

24기

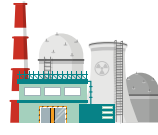
경수로형 21기, 중수로형 3기
(연구정지 2기)



사용후핵연료
발생량

18,000톤

(경수로형 8,800톤,
중수로형 9,200톤)



최초 예상 포화원전
고리, 한빛(경수로형)

2031년



관리정책 논의에 참여한
국민 수

47,000명

6대 관리원칙



- 국가 책임하 안전 관리
- 국민 건강과 환경에 대한 위해 방지
- 투명한 정보공개, 국민참여와 공감대 확보
- 현세대가 관리책임 부담, 발생자가 관리비용 부담
- 필요기술 지속 개발
- 의사결정의 가역성과 회수가능성 고려



관리시설
부지확보까지

13년 소요



부지선정착수 후
영구처분시설 확보

37년 소요

영구처분 부지 확보한 국가

3개국

(스웨덴, 핀란드, 프랑스)

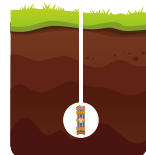


원전 내 건식저장시설
운영 중인 국가

33개 원전 운영국 중



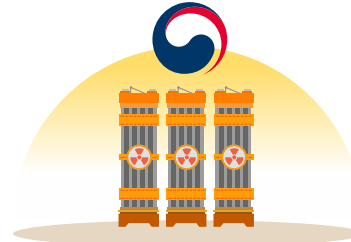
22개국



영구처분시설
깊이

500m~
1,000m

고준위 방사성폐기물 관리원칙



국가 책임 하에
안전하게 관리



투명한 정보 공개,
국민참여와 공감대 확보



국민 건강과 환경에 대한
위해 방지



현 세대 책임,
필요기술 지속 개발

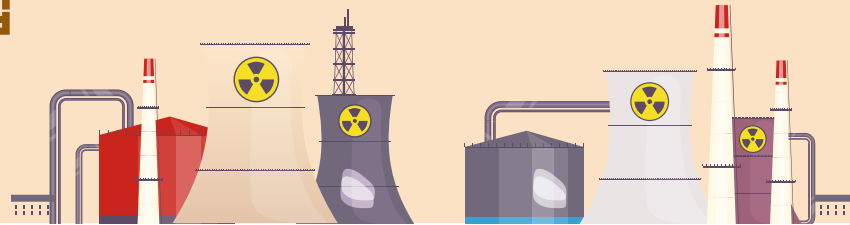


의사결정의 가역성,
회수가능성 고려

고준위 방사성폐기물 관리정책 로드맵

고준위 방사성폐기물은 어떤 여행을 하게 될까?

37년여간 긴 여정을 거쳐 다시 자연으로 돌아옵니다.



부지선정 절차 착수

- 고준위 방사성폐기물의 안전한 관리를 위한 조속한 부지 선정

관리시설 부지확보

- 조사계획 수립 후 부지확정까지 약 13년 소요

* 조사계획수립·부적합지역 우선 배제(1년)
⇒ 부지공모·주민의견 확인(2년)
⇒ 부지적합성 기본조사(5년)
⇒ 부지적합성 심층조사(4년)
⇒ 주민의사 확인·부지확정(1년)

Y+13

중간저장시설 확보

- 발생자로부터 인수한 고준위 방사성폐기물을 처분 전까지 저장하는 시설로, 관리시설 부지확보 이후 약 7년 내 건설

* 시설방식은 공학적 안전성, 주민의사 등을 종합하여 고려

Y+20

영구처분시설 확보

- 고준위 방사성폐기물을 인간의 생활권으로부터 영구 격리하는 시설로, 지하연구시설 실증연구 종료 후 약 10년 내 확보

* 핀란드식 심층처분에 활용되고 있는 다중방벽시스템을 우선 고려하되 기술적 대안(심부시추공 등)도 병행 고려

Y+37

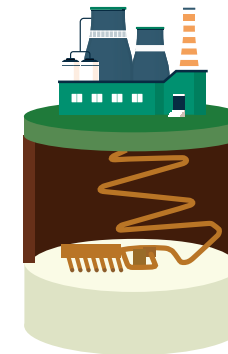
[중점 추진과제]

관리 시설	과학적 합리성과 사회적 합의에 기반한 관리시설 확보
지역 지원	지역공동체를 위한 범정부 지원·소통 체계 구축
정책 기반	안전관리를 위한 정책기반 확충

지하연구시설 건설·운영

- 처분시스템의 고유특성과 장기성능을 실증하기 위한 시설로, 관리시설 부지확보 이후 약 14년 내 건설·실증연구

* 실증연구를 통해 영구처분시설 인허가시 필요한 정보를 산출하고, 이후 지하연구시설은 영구처분시설로 확장





지금 전 세계는 에너지 안보와 탄소 중립이라는 거대한 흐름 속에 있습니다. 이에 따라 원자력의 역할과 중요성을 새롭게 인식하고 에너지 정책과 에너지 믹스를 재조정하는 움직임이 뚜렷합니다. 프랑스가 14기의 신규원전을 추진하는 등 각국이 원전의 활용도를 높이는 움직임이 강화되고, EU의회는 금년 7월에 원자력을 EU 택소노미에 포함하여 청정에너지로 인정하였습니다.

정부도 기후변화 대응과 안정적인 전력 수급을 위해 지난 7월 「새정부 에너지정책 방향」을 마련하고, 원전 정책의 정상화와 재생에너지의 합리적인 보급 확대를 통해 현실적이고 조화로운 에너지믹스를 추진해 나가고 있습니다. 국민 안전을 최우선으로 신한울 3·4호기 건설 재개, 계속운전 추진 등으로 2030년 원전 비중을 30% 이상으로 확대할 것입니다. 또한 지난 두 번의 정부에서 「고준위 방사성폐기물 관리 기본계획」을 수립하여 처분시설 확보를 위한 일정과 절차를 제시한 만큼, 특별법 제정을 통해 고준위 방사성폐기물의 안전한 관리를 실행해 나갈 것입니다.

우리에게 현실적으로 원자력이 필요한 만큼, 무엇보다 국민과의 소통이 중요합니다. 소통을 위한 기본전제는 과학적인 합리성과 객관적 데이터에 기반한 정확한 정보의 제공입니다. 그리고 국민들의 눈높이에서 보다 이해하기 쉽게 설명하고 전달하는 것도 필요합니다.

그려야만 원자력에 관한 부정확한 정보로 생기는 불필요한 오해와 논란을 줄이고, 사회적인 비용도 낮출 수 있을 것입니다.

이러한 차원에서 「사필귀정」 발간을 축하합니다. 이 책이 원자력과 관련한 우리 사회의 컨센서스를 만들어가는 데 기여하고, 앞으로 합리적이고 실용적인 원자력의 활용을 위한 이해의 출발점이 되기를 기대합니다.

2022.10.
산업통상자원부 장관 **이창양**



안녕하십니까.

한국원자력환경공단 이사장 차성수입니다.

최근 뉴스에서 녹색분류체계 그리고 고준위 방사성 폐기물 관리와 관련한 보도를 자주 접하고 있습니다. 그동안 우리나라 원자력발전 분야는 꾸준한 양적 성장과 질적 발전을 거듭한 반면, 후행핵연료 주기로 일컬어지는 방사성폐기물 관리 분야는 상대적으로 뒤쳐져 있었던 것이 사실입니다.

고준위 방사성폐기물 관리는 안정적 에너지 공급을 위한 필수 선결과제이며, 국민 안전과 미래세대 권익을 위해 우리 세대가 반드시 해결해야 할 시대적 소명이기도 합니다.

고준위 방사성폐기물 관리문제를 해결하기 위해서는 기술적으로는 내포된 위험과 한계를 극복해 나가되, 또 다른 한편으로는 철차적 민주성과 사회적 신뢰를 확보해 나가는 노력이 필요합니다. 이러한 이유로 일반국민들께서 고준위 방사성폐기물을 보다 쉽게 이해하는데 도움을 드리고 함께 소통해 나가고자 금번 사필귀정 책자를 발간하게 되었습니다.

본 책자는 고준위 방사성폐기물의 기본개념, 국가 관리정책 방향, 기술개발, 그리고 일반국민들이 궁금해 하는 사항까지 방대한 정보를 체계적으로 종합하여

수록하였습니다. 고준위 방사성폐기물에 관한 종합 안내서인 본 책자를 통해 관련 분야 전문가들은 물론 일반인들이 조금이나마 서로 소통할 수 있는 자료가 되기를 소망합니다.

다시 한번 사필귀정 책자 발간을 축하하며, 그동안 수고해 주신 산업통상자원부 및 유관기관 관계자분들, 그리고 집필에 참여해 주신 모든 전문가분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 우리 공단 또한, 고준위 방사성폐기물의 투명하고 안전한 관리를 위해 꾸준히 노력하겠습니다.

감사합니다.

2022.10.

한국원자력환경공단 이사장 차 성 수

1부

원자력은 안전한가요? —————

원자력발전, 안전하게 운영 중입니다.

01 원자력발전은 어떻게 이루어지나요?	16
02 원자력발전, 왜 필요한가요?	17
03 원전은 어떻게 성장해 왔나요?	19
04 전 세계적으로 원전은 얼마나 운영되고 있나요?	21
05 후쿠시마 사고 후 원전을 줄이고 있다는데요?	22
06 원자력발전은 안전한가요?	24
07 원전을 계속운전 한다는데 안전한가요?	26
08 우라늄도 수입자원인데, 에너지 안보 문제는 없나요?	27
09 우리나라 원전의 수출 경쟁력은 무엇인가요?	29
10 원자력발전을 늘리면 재생에너지는 줄어드는 것이 아닌가요?	30

고준위 방사성폐기물, 안전하게 관리 중입니다

11 사용후핵연료가 무엇인가요?	32
12 사용후핵연료에도 여러 종류가 있나요?	34
13 사용후핵연료에서 방출되는 방사선과 자연방사선은 다른건가요?	36
14 고준위 방사성폐기물이 무엇인가요?	38
15 고준위 방사성폐기물은 그동안 얼마나 발생했나요?	40
16 임시저장시설이 무엇인가요?	42
17 습식저장이 무엇인가요?	43
18 습식저장시설에서 사용후핵연료를 촘촘하게 저장한다는데 괜찮은가요?	44
19 건식저장이 무엇인가요?	45
20 건식저장에는 어떤 방식이 있나요?	46
21 건식저장은 안전한 방식인가요?	47
22 건식저장시설은 방사능누출 때문에 위험하다던데요?	49

23 저장시설의 안전성은 어떻게 확인하나요?	52
24 저장시설은 지진에 대비되어 있나요?	53
25 고준위 방사성폐기물 관리방법에는 어떤 것이 있나요?	54
26 재처리가 무엇인가요?	56
27 우리나라도 재처리를 할 수 있나요?	58
28 고준위 방사성폐기물은 현재 어떻게 관리되고 있나요?	59
29 원전 부지내에서 계속 관리하면 안 되나요?	60

2부

고준위 방사성폐기물은 어떻게 관리하나요? —————

영구처분, 꼭 필요한가요?

30 영구처분이 무엇인가요?	64
31 심층처분방식이 무엇인가요?	65
32 처분용기는 어떻게 만들어지나요?	66
33 다른 나라의 부지선정 사례는 어떤가요?	67
34 경주에 방폐장이 있다던데, 처분시설이 또 필요한가요?	69
35 무인도에 처분시설을 만들면 안 되나요?	70
36 고준위 방사성폐기물을 안전하게 처분할 수 있나요?	71
37 영구처분시설부지는 어떠한 요건을 만족해야 되나요?	72
38 지하연구시설에서는 무엇을 하나요?	73

고준위 방사성폐기물 운반·저장 같이 알아볼까요?

39 고준위 방사성폐기물은 어떻게 운반하나요?	76
40 운반과정에서 안전성에는 문제가 없나요?	77

41	고준위 방사성폐기물 저장용기에는 어떤 종류가 있나요?	78	59	연구용 지하연구시설은 해외시설을 활용하면 안 되나요?	107
42	중간저장시설 부지는 어떤 조건을 만족해야 하나요?	80	60	부지선정을 하기 위한 조건은 무엇인가요?	108
43	중간저장시설은 왜 필요한가요?	82	61	경주도 유치지역이 될 수 있나요?	109
	정부는 앞으로 무엇을 할 건가요?		62	처분부지를 선정할 때 주민 의견은 어떻게 확인하나요?	111
44	고준위 방사성폐기물을 관리하기 위해 어떻게 할 건가요?	84	63	부지선정기간을 두고, 짧다, 길다는 의견이 많던데요?	112
45	고준위 방사성폐기물 관리 기본계획이 뭔가요?	85	64	고준위 방사성폐기물 관리에 필요한 예산은 충분한가요?	113
46	‘의사결정의 가역성’, ‘회수가능성’이 무슨 말인가요?	87	65	정부가 발표하는 포화시점은 왜 바뀌는 건가요?	114
47	고준위 방사성폐기물 관리시설 부지선정은 어떻게 진행되나요?	90	66	저장시설이 없으면, 원전해체도 불가능한 것 아닌가요?	115
48	유치지역에 대한 지원은 어떻게 할 건가요?	91	67	고준위 방사성폐기물 관리를 위한 별도의 위원회가 필요한가요?	116
49	우리나라의 고준위 방사성폐기물 관련 기술수준은 어느 정도인가요?	93	68	방사성폐기물 관리법이 있는데 특별법이 필요한가요?	117
50	어떤 기술이 확보되었고, 앞으로 어떤 기술을 확보해야 하나요?	94		고준위 방사성폐기물, 오해해서 미안해	
51	미확보 기술은 어떻게 확보할 건가요?	95	69	고준위 방사성폐기물 처분시설 설치는 원전비중 확대 때문인가요?	120
52	고준위 방사성폐기물 관리 인력은 충분한가요?	96	70	경주 방폐장 선정 시 정부가 한 약속을 안 지켰다는데요?	121
			71	월성원전의 건식저장시설은 중·저준위특별법상 관련 시설이 아닌가요?	123
3부			72	고준위 방사성폐기물 운반용기도 아직 없다는데요?	124
고준위 방사성폐기물 알쓸신잡			73	플루토늄은 조금만 먹어도 죽는다는데 위험하지 않나요?	125
			74	특별법은 원전 부지내 저장시설 설치를 위한 법이라던데요?	126
	고준위 방사성폐기물 A to Z		75	금전적 혜택으로 지역주민의 마음을 사고자 하는 것은 아닌지?	127
53	원전을 해체하면 사용후핵연료도 해체해야 하나요?	100	76	아무리 깊은 땅속이라도 지진에는 못 견딜 것 같은데요?	128
54	사용후핵연료에서 발생하는 열을 에너지원으로 활용할 수는 없나요?	101	77	땅속에 고준위 방사성폐기물을 묻으면, 지하수 때문에 위험한 것 아닌가요?	129
55	사용후핵연료도 핵폭탄처럼 폭발하나요?	103	78	우리나라에는 지질학적 안정성을 갖춘 부지가 없었던데요?	130
56	고준위 방사성폐기물을 우주나 바다에 처분할 수는 없나요?	104	79	가장 앞서있다는 핀란드 처분시설은 안전성 검증이 완료되었나요?	131
57	습식저장에서 사용된 물은 어떻게 처리하나요?	105	80	경수로형은 저장기술이 없었던데요?	132
58	중간저장시설과 영구처분시설을 왜 같은 부지에 만드나요?	106			

사용후핵연료,
필수적이고
귀중한
정보집

01

1부

원자력은
안전한가요?

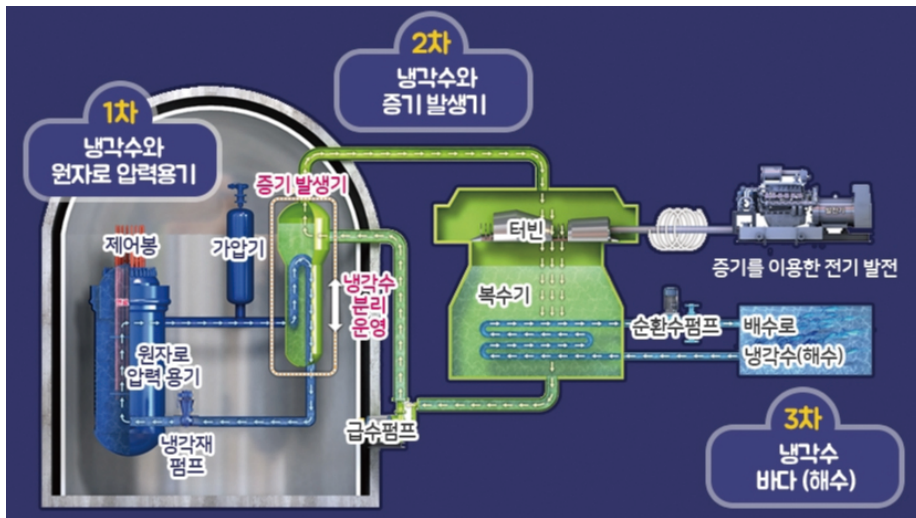


01 원자력발전은 어떻게 이루어지나요?

원자력발전은 핵분열을 통해 만들어진 열에너지를 이용하여 발전하는 방식입니다.

- 우라늄(U-235)은 핵분열 반응을 통해 쪼개지며, 그 과정에서 막대한 양의 에너지가 발생합니다.
- 이 때 발생한 에너지로 물을 끓여 증기를 발생시키고, 그 힘으로 터빈을 돌려서 전기에너지를 만듭니다.

원자력발전소의 각 설비 및 전기 생산 과정



* 출처 : 한국수력원자력(주) 홈페이지(열린원전운영정보-원자력정보광장-알기쉬운 원자력정보)

참고영상

원자력발전소 안으로 들어가봤습니다. 어떻게 생겼을까요?
(한국수력원자력(주))

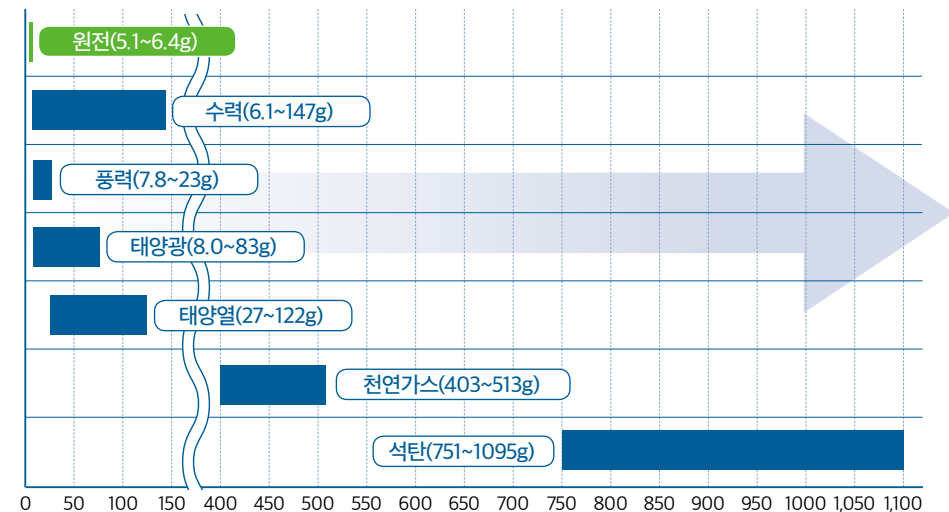


02 원자력발전, 왜 필요한가요?

원자력발전은 경제성, 에너지 안보, 탄소중립 등을 고려할 때, 우리나라에 반드시 필요한 에너지자원입니다.

- 원자력발전소의 발전비용은 다른 발전원에 비해 월등히 낮습니다.
- 해외 의존도가 높아 에너지 안보에 취약한 우리나라의 경우, 연료비 비율이 낮은 원자력발전이 필수적입니다.
- 또한, 원자력발전은 석탄 등 화석연료 발전원과 달리 미세먼지와 온실가스를 거의 배출하지 않고, 최근 '한국형 녹색분류체계(«택소노미»)'에도 포함되는 등 탄소중립 달성을 위한 하나의 수단으로 재조명되고 있습니다.

발전원별 온실가스 배출량



* 출처 : 발전량(kWh) 당 온실가스 배출량 (유엔유럽경제위원회(UNECE) LCA 보고서, 2021)

04 전 세계적으로 원전은 얼마나 운영되고 있나요?

33개국에서 426기의 원전이 운영되고 있습니다.

- 2022년 9월 기준으로 33개국에서 426기의 원전이 운영되고 있으며, 18개국에서 57기의 신규원전 건설을 추진하고 있습니다.
- 전 세계 원전 설비용량은 약 400GWe로, 원전에서 생산된 전력량은 전 세계 전력 생산량의 약 10%를 차지합니다.

주요국 원전운영 현황

(단위: 기, '22.9월 기준)

국 가	운 영	설비용량(MW)	영구정지	건설 중
 미 국	92	94,718	41	2
 프 랑 스	56	61,370	14	1
 중 국	55	52,170	-	18
 일 본	21	19,797	27	2
 한 국	25	24,431	2	3
 독 일	3	4,055	30	-
기 타	174	124,910	89	31
전 세계	426	381,451	203	57

* 출처 : IAEA, PRIS

세상에서 가장 정확한 시계 - 원자시계

쉬어가는
페이지

타임머신으로 과거와 미래를 넘나드는 영화 속 이야기는 꽤 흥미로운 소재이지만 만약 진짜로 과거로 가서 직접 사건에 관여한다면 세상은 극도로 혼란에 빠져버리고 말겁니다.

그런데 시간이라는 개념은 언제부터 생겨났을까요? 까마득한 원시시대에도 시간의 개념은 있었을 것으로 생각됩니다. 생명을 유지하기 위해서는 해가 뜨고 밤이 오는 시간의 흐름을 관찰하고 이용하는 것이 무엇보다 중요했을 테니까요.

그러면 시간을 측정하는 것은 어떻게 하였을까요? 최초의 시계는 해시계로 알려져 있습니다. 세워놓은 막대기의 그림자를 보고 시간을 재는 단순한 방식이지요. 그 후 문명의 진화에 따라 도구를 사용하는 물시계, 모래시계가 생겨나고, 근대에 들어서면서 태엽과 같이 동력을 사용하는 기계식 시계가 발명되었지요.

정확한 시간측정에 대한 인간의 열망은 현대에 들어서 음파로 움직이는 시계, 수정의 진동을 이용한 시계, 원자의 고유한 진동수를 이용한 시계 등 다양한 방식의 초정밀 시계를 개발하기까지 이르렀습니다.

특히 원자의 진동수를 이용하는 방법은 현재 가장 정밀하게 시간을 측정할 수 있는 방법인데요. 시간의 기본단위인 1초를 세슘 원자의 진동수를 기반으로 정의할 정도입니다. 한국표준과학연구원이 개발한 KRISS-YbI이라는 원자시계는 20억년이라는 긴 시간 동안 1초의 오차 밖에 나지 않는다고 합니다.

05 후쿠시마 사고 후 원전을 줄이고 있다는데요?

그렇지 않습니다. 에너지 안보와 탄소중립 달성을 위해 세계 각국에서 원전의 활용도를 높이는 정책을 추진하고 있습니다.

- 영국, 프랑스, 미국 등 주요 국가들은 신규 원전건설, 계속운전 기간 연장, SMR(소형모듈원전) 개발 등을 적극 추진하고 있습니다.
- 최근 대표적인 탈원전 국가인 독일·일본도 원전운영 연장과 원전 신설을 검토하는 등 세계적으로 원전의 활용도를 높이는 추세가 더욱 뚜렷해지고 있습니다.
- 2022년 7월, EU는 원전을 청정에너지로 인정하여 녹색분류체계(택소노미)에 포함하였으며, 한국도 일정 조건하에 원전을 녹색분류체계에 포함하도록 추진하고 있습니다.

주요국 원전정책 동향

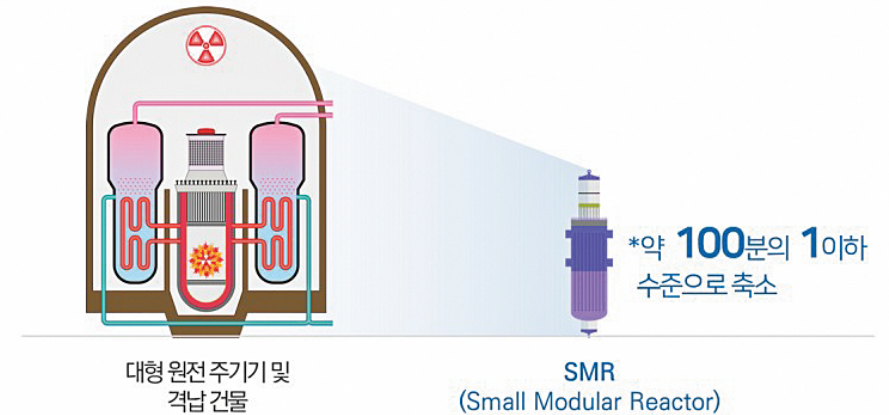
 영국	<ul style="list-style-type: none"> • '50년까지 최대 8기 추가건설('21년 6.8GW→'50년 24GW) • 총 전력생산 중 원전 비중을 현재 15% 수준에서 25% 확대
 벨기에	<ul style="list-style-type: none"> • 원전 2기에 대한 계속운전 기한을 기존 '25년에서 '35년으로 연장
 미국	<ul style="list-style-type: none"> • 원전을 CFE(Carbon Pollution Free Electricity) 포함, 원전 지원 확대 • 노후원전 조기폐쇄 방지를 위해 60억불 배정 • Nuscale社 SMR 개발에 총 13.6억불 지원계획
 프랑스	<ul style="list-style-type: none"> • '50년까지 신규 6기 건설+추가 8기 검토(현재 원전 비중 66%)
 폴란드	<ul style="list-style-type: none"> • '43년까지 6기 건설(원전 비중 약 10%)
 체코	<ul style="list-style-type: none"> • '40년까지 최대 4기 추가 건설 추진(원전 비중 36%→46~58%)
 핀란드	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 1기 가동 개시, 가동원전 2기 계속운전 추진
 일본	<ul style="list-style-type: none"> • 차세대 원전 신설, 원전 재가동 확대, 운전기간 연장 등 검토
 독일	<ul style="list-style-type: none"> • 폐쇄 예정인 원전 3기 중 2기의 가동기한을 '23년 4월까지 연장

? 더 알아보까요? 소형모듈원전(SMR)

- 소형모듈원전(SMR, Small Modular Reactor)은 증기발생기, 냉각재 펌프 등 주요기기를 하나의 용기에 담아서 안전성을 강화한 300MWe이하 출력의 원자로입니다.
- 수요지 인근에 설치할 수 있고, 출력을 유연하게 조정하여 신재생에너지의 간헐성을 보완할 수 있습니다.
 - 소형모듈원전은 신재생에너지와의 상호보완을 통해 2050탄소중립 달성에 핵심적 역할을 할 것으로 기대되고 있습니다.

소형모듈원전(SMR) 개념도

구분	OPR 1000	APR 1400	SMR
전기용량	1000MWe	1400MWe	300MWe 이하



참고영상

모듈형 소형 원자로(SMR) 그것이 알고 싶다
(한국수력원자력(주))

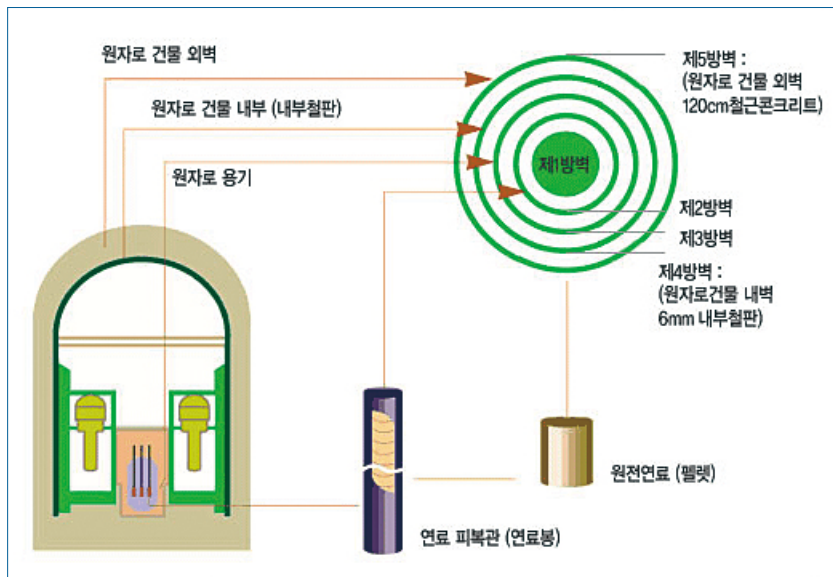


06 원자력발전은 안전한가요?

안전합니다. 원자력발전은 높은 안전 목표로 설계되며, 방사성물질이 외부로 누출되지 않도록 5중 방벽으로 안전하게 격리됩니다.

- 우리나라 원자력발전소는 3가지 안전 설비 원칙하에 설계됩니다.
 - 다중성 : 같은 기능의 설비를 여러 개 설치해 한 설비의 기능이 상실되어도 다른 설비가 대신합니다.
 - 다양성 : 한 가지 기능을 수행하기 위해 구성이 다른 계통이나 기기를 두 종류 이상 설치하여 동시 기능상실을 막습니다.
 - 독립성 : 기기들이 한 가지 원인에 의해 한꺼번에 기능을 상실하지 않도록 물리적·전기적으로 분리 설치하여 각각 다른 전원을 공급받도록 설계합니다.
- 또한, 우리나라 원전은 관련법령 및 기준에 따라 건설 시에는 인허가(건설허가 및 운영허가) 적합성 검토를 실시하고, 운영 시에도 검사와 심사를 주기적으로 실시하고 있습니다.

우리나라 원자력발전소의 5중 방벽



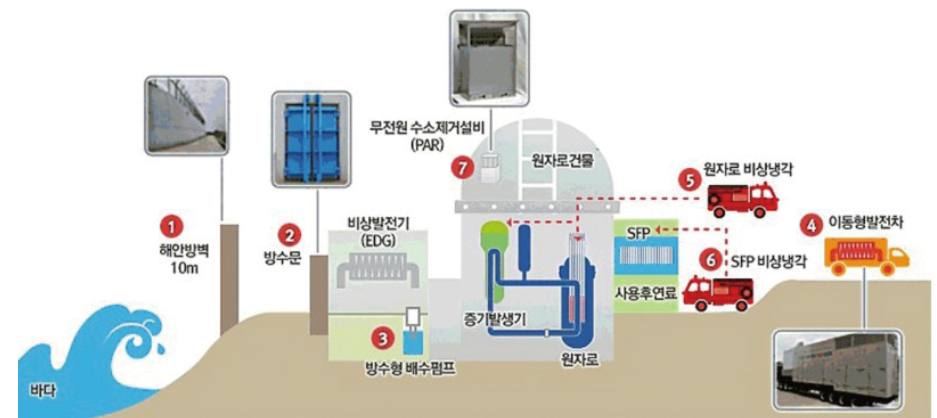
* 출처 : 한국수력원자력(주) 홈페이지(열린원전운영정보-원자력정보광장-알기쉬운 원자력정보)

? 더 알아보까요?

후쿠시마 사고 후속 원전 안전대책

- 2011년 후쿠시마 원전사고에서 얻은 교훈을 반영하여 50여건이 넘는 개선 대책을 이행하였습니다.
 - 일정 규모 이상의 지진이 감지되면 원자로를 자동으로 정지하는 지진 자동정지 설비 장착
 - 고리원전의 해안방벽을 7.5m에서 10m 높이로 증축
 - 비상 상황에서의 전원 공급을 위한 이동형 발전차량 확보
 - 원자로 냉각기능의 장기 상실 대비 원자로 비상냉각수 외부 주입로 설치
 - 전기가 없어도 격납건물 안의 수소를 제거할 수 있는 수소제거설비 설치

원전에 적용된 안전 대책



07 원전을 계속운전 한다는데 안전한가요?

안전합니다. 규제기관의 엄격한 심사를 통과한 후 계속 운전이 이루어집니다.

- 원전의 계속운전은 세계적으로 널리 이루어지고 있습니다. 2021년 12월 기준, 운영허가가 만료된 원전 중 92%가 계속운전을 하고 있습니다.
- 우리나라의 고리1호기와 월성1호기도 계속운전을 하였습니다.
- 발전사업자는 원전 계속운전을 하기 위해 안전성평가보고서를 규제기관에 제출하여 승인을 받아야 합니다.
- 보고서는 주기적안전성평가, 주기기기수명평가, 방사선환경영향평가 등으로 구성되며, 규제기관은 해당 항목을 기초로 계속운전을 해도 좋은지 심사합니다.

원전 계속운전 제도 비교

국 가	연장기간(초기연한)	계속운전 심사방식	가능횟수
 한국	10년(30/40/60년)	운영변경허가+ 주기적안전성평가	제한없음
 미국	20년 이내(40년)	운영변경허가	제한없음(총40년)
 일본	20년 이내(40년)	운영변경허가	1회(20년내)
 프랑스	10년(없음)	주기적안전성평가	제한없음

08 우라늄도 수입자원인데, 에너지 안보 문제는 없나요?

원전은 에너지 안보에 매우 유리합니다. 우라늄 자원이 널리 분포되어 있어 가격안정성이 높고, 수입원도 다양하기 때문입니다.

- 우리나라는 에너지안보를 고려, 다양한 국가에서 우라늄을 수입하고 있으며, 한수원(주)은 18개월분의 우라늄을 비축하고 있습니다.
- 또한, 발전 비용에서 연료가 차지하는 비중이 절반 이상인 LNG 등 화석연료와 달리, 원전은 우라늄이 차지하는 비중이 10%내외에 불과하여 가격 변동이 발전 비용에 미치는 영향이 적습니다.

세계 우라늄 자원 분포도



* 출처 : 광산물 수급에 따른 국내광업 경쟁력 향상에 대한 연구(지질자원연구원, 2009)

원전에서 케이크가 나온다고?

쉬어가는
페이지

우라늄을 가공하는 단계에서는 소위 “옐로우 케이크(Yellow cake)”라는 것이 나옵니다.

원자력발전소에서 우라늄으로부터 전기를 생산하는 데 필요한 모든 일련의 공정을 핵연료주기라고 하는데 원자료를 기준으로 선행과 후행으로 나눌 수 있고, 옐로우 케이크는 선행핵연료주기에서 발생합니다.

선행핵연료주기란 우라늄 광석을 가공하여 핵연료로 제조하는 과정으로 ‘채광 → 정련 → 농축 → 성형가공’의 단계로 구성됩니다.

옐로우 케이크는 ‘정련’ 공정에서 나오는데요. 정련 공정을 거친 후에는 우라늄 함량이 높은 노란색 분말 형태가 만들어지는데, 이를 우라늄 정광 혹은 옐로우 케이크라고 부릅니다.

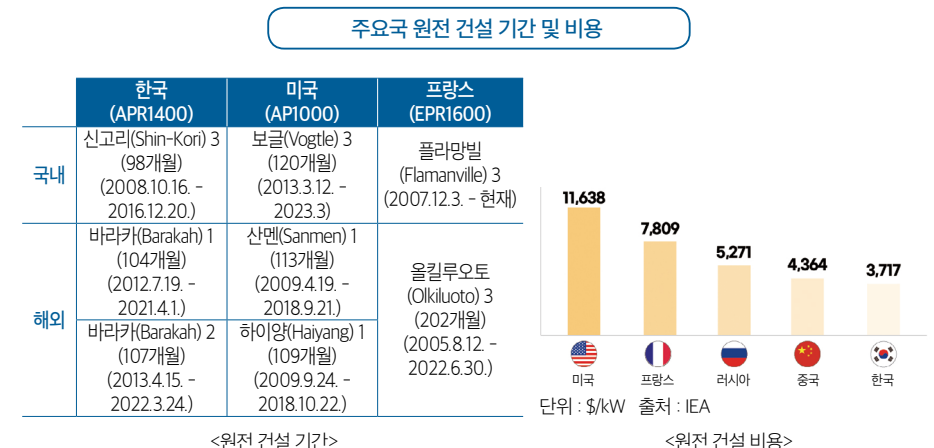
이처럼 우리가 아는 케이크의 제조 방식과는 너무나 다른 의미지만 우라늄 광석을 분쇄해 화학적 처리(정련)를 거쳐 나온 모양이 노란색 떡같이 보여 옐로우 케이크라고 불린다고 합니다. 글로만 봤을 땐 이해하기 힘들었는데 사진을 보니 왜 그렇게 불리는지 알 것 같네요!



09 우리나라 원전의 수출 경쟁력은 무엇인가요?

우리나라 원전은 최고 수준의 안전성, 독자적인 기술력, 탁월한 건설능력 등의 경쟁력을 가지고 있습니다.

- ① 최근 상업 운전을 개시한 UAE 바라카 원전사업에서 계획된 공사기간과 예산을 준수하여, 사업관리 능력을 입증하였습니다.
- ② 자체적으로 개발·생산한 기술과 기자재를 활용한 독자적인 건설 능력을 갖추고 있습니다.
- ③ 수출 원전인 APR1400은 규모 약 7.0의 내진설계를 포함, 세계적인 수준의 안전성을 확보하고 있습니다.
- ④ APR1400은 유럽사업자요건(EUR) 인증 취득, 미국 원자력규제위원회(NRC) 설계인증 취득 등을 통해 검증받은 기술을 활용합니다.
- ⑤ 1,000여개 이상의 국내 기자재·서비스 업체를 바탕으로 탄탄한 공급망이 구축되어 있습니다.



10 원자력발전을 늘리면 재생에너지는 줄어드는 것이 아닌가요?

그렇지 않습니다. 원자력발전을 재생에너지 등 다른 전원과 조화롭게 활용할 계획입니다.

- 에너지 수급안정과 탄소중립을 위해서 원자력발전을 기저전원으로 충분히 활용하면서도 재생에너지를 합리적이고 실현가능한 범위에서 최대한 보급하는 것이 필요합니다.
- 2022년 8월 공개된 제10차 전력수급기본계획 실무안에서도 원자력 발전과 신재생에너지의 동시 확대를 목표로 하고 있습니다.

신재생에너지란?

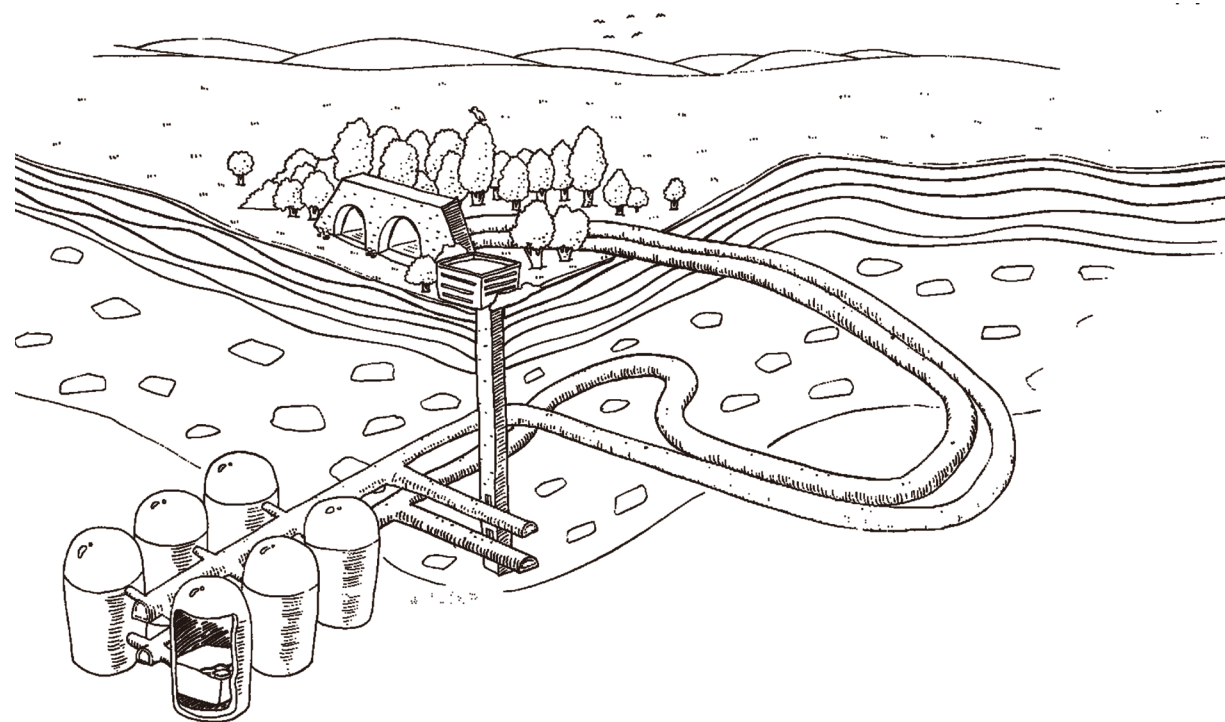
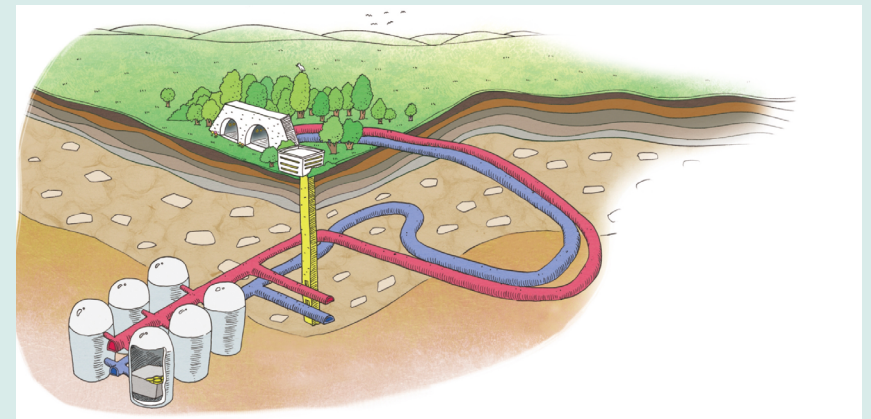
- 신재생에너지는 신에너지와 재생에너지를 함께 지칭하는 것으로, 기존 화석연료 사용으로 인한 지구온난화 문제를 해결하기 위한 에너지원입니다.

재생에너지	햇빛 · 물 · 지열 등 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지	태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에너지 등
신에너지	기존에 사용된 석유 · 석탄 · 원자력 등이 아닌 새로운 에너지	수소에너지, 연료전지, 석탄액화가스화 등



컬러링북

중·저준위 방사성폐기물 동굴처분시설



11 사용후핵연료가 무엇인가요?

원자력발전은 우라늄을 연료로 사용하는데, 발전에 사용되었던 우라늄 연료를 사용후핵연료라고 합니다.

- 원자력발전에 쓰이는 우라늄 핵연료에는 우라늄-235(U-235)가 약 3~5% 정도 들어 있습니다.
- 원자로에서 4년 정도 사용하면, 우라늄-235가 약 1%로 줄어들어 더 이상 발전에 사용되지 못하기 때문에 새로운 연료로 바꿔주어야 합니다.
- 이때 교체되어 나온 우라늄 핵연료인 사용후핵연료는 높은 열과 방사능을 가지므로 안전을 위해서 특별하게 관리해야 합니다.

? 더 알아보까요? 사용후핵연료

- 원자력발전에는 우라늄-235(U-235)가 사용됩니다. 광산에서 캐낸 천연우라늄에는 우라늄-235가 약 0.7% 포함되어 있고 나머지 99.3%는 우라늄-238(U-238)입니다.
- 우라늄-235는 핵분열을 하므로 연료가 되지만 우라늄-238은 우라늄-235와 같이 핵분열을 잘 하지 않습니다.
- 중수로형 원전은 천연우라늄을 연료로 사용하지만, 경수로형 원전은 우라늄-235를 3~5% 정도로 농축하여 사용합니다.



- 우라늄이 중성자를 흡수하거나 핵분열하면 플루토늄, 세슘, 스트론튬 등 다른 방사성물질로 바뀝니다.

사용전핵연료



사용후핵연료



경수로형 사용후핵연료의 구성비



12 사용후핵연료에도 여러 종류가 있나요?

네, 여러 종류가 있습니다. 우리나라에는 크게 경수로형과 중수로형 사용후핵연료가 있습니다.

- 먼저, 경수로형은 △ 농축우라늄을 사용하고, △ 다발당 무게가 670kg 정도이며, △ 약 4년간 사용됩니다.
* 우라늄-235의 농축도가 3~5%
- 중수로형의 경우, △ 천연우라늄을 사용하고, △ 다발당 무게가 24kg 정도이며, △ 약 9개월간 사용됩니다.
* 우라늄-235의 함유량이 0.7%
- 참고로, 발생하는 열과 방사선량은 중수로형이 경수로형에 비해 현저히 낮습니다.
* 10년 정도 냉각된 중수로형 사용후핵연료 1다발에서 발생하는 열량과 방사선량은 경수로형 사용후핵연료 1다발 대비 각각 1/10과 1/20 수준에 불과합니다.



더 알아보까요?

경수로형과 중수로형 사용후핵연료의 차이점

- 경수로형과 중수로형 핵연료는 이렇게 다릅니다.

구 분	경수로형 핵연료	중수로형 핵연료
국내보유 원전 (영구정지)	21기 (17)	3기 (17)
개발국가	미국	캐나다
냉각재·감속재	경수(H ₂ O)	중수(D ₂ O)
사용연료	저농축우라늄(U-235 : 3~5%)	천연우라늄(U-235 : 0.7%)
연료 교체주기	18개월마다 1/3씩 교체	매일 일정량(16다발) 교체
원자로 형태	수직 (1개의 원통용기)	수평 (380개의 압력관)
핵연료 형상		
	<ul style="list-style-type: none"> • 길이 : 약 450cm • 폭 : 20cm • 집합체 무게 : 약 673kg • 우라늄 무게 : 약 450kgU 	<ul style="list-style-type: none"> • 길이 : 50cm • 직경 : 10cm • 다발 무게 : 약 24kg • 우라늄 무게 : 약 19kgU

※ 중수로는 천연우라늄을 사용하기 때문에 지속적인 핵분열을 유지하기 위하여 중수를 냉각재(감속재)로 사용합니다.

13 사용후핵연료에서 방출되는 방사선과 자연방사선은 다른건가요?

근본적으로 같습니다. 사용후핵연료 방사선은 인공방사선의 한 종류이고, 인공방사선이든 자연방사선이든 동일한 방사선량을 받을 경우 위험도는 동일합니다.

- 방사선은 자연방사선과 인공방사선으로 구분되지만, 두 방사선의 성질은 다르지 않습니다.
- 자연방사선은 지구가 탄생한 이후부터 우리 주위에 있어온 방사선으로, 우주에서 날아오는 우주방사선과 땅속에 자연적으로 존재하는 방사성물질에서 나오는 방사선 등이며, 연간 전 세계 평균 2.4밀리시버트(mSv) 정도의 자연방사선을 받으며 살아갑니다.
* 방사선 피폭에 의한 인체 건강에의 영향을 다루기 위해 도입된 단위입니다.
- 인공방사선은 의료기기, 원자력발전소 등에서 발생한 동위원소에서 나온 방사선으로 사용후핵연료 방사선도 이에 속합니다.

참고사이트 및 영상

국가 환경방사선 자동감시망 :
<http://iernet.kins.re.kr>



방사선, 방사능, 방사성물질 뭐가 다른
건데?(원자력안전위원회)



음식에도 방사선이? 방사선에 관한
'거의' 모든 것
(한국수력원자력(주))



어플리케이션

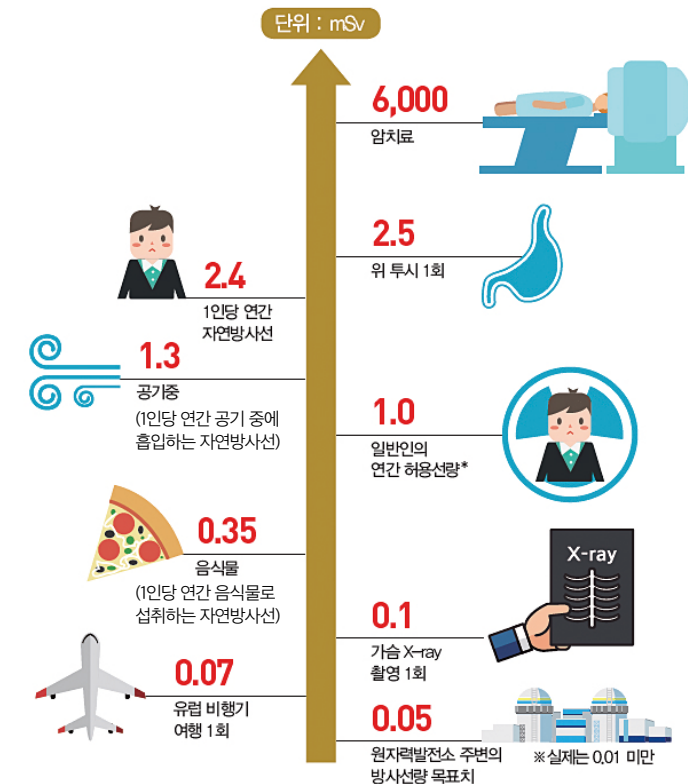
실시간 환경방사능 정보
(한국원자력안전기술원 운영)



더 알아보까요?

자연방사선과 인공방사선

자연방사선 VS 인공방사선



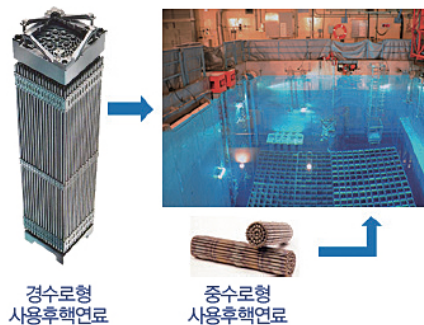
* 질병의 진단이나 치료 목적의 의료용 방사선량은 제외

14 고준위 방사성폐기물이 무엇인가요?

원자력발전 과정에서 발생하는 부산물로 열과 방사능 준위가 높은 폐기물을 말합니다.

- 방사성폐기물은 열과 방사능의 준위(세기)에 따라서 고준위(High level), 중준위(Intermediate level), 저준위(Low level), 극저준위(Very low level)로 분류합니다.
- 우리나라의 경우, 고준위 방사성폐기물의 대부분은 사용후핵연료입니다. (사용후핵연료 중 처분하기로 결정된 것이 고준위 방사성폐기물이 됩니다.)
- * 원전에서 사용한 작업복, 덧신 등은 방사능 준위가 낮은 중·저준위 방사성폐기물로, 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설에 처분합니다.

고준위 방사성폐기물의 예



중·저준위 방사성폐기물의 예



참고영상

코라와 함께 알아보는 사용후핵연료 임시저장
(한국원자력환경공단)



? 더 알아보까요? 고준위 방사성폐기물

- 원자력안전법에서는 열발생률이 $2\text{kW}^{(1)}/\text{m}^3$, 반감기 20년 이상인 알파선을 방출하는 핵종으로 방사능 농도가 그램당 4,000벵크렐⁽²⁾ 이상인 것을 고준위 방사성폐기물로 정의하고 있습니다.
- 1) 발전소내 저장 수조에서 5년가량 냉각한 사용후핵연료는 다발당 0.1~1kW 정도의 열이 발생하는데, 이는 가정용 다리미와 비슷한 수준입니다.
- 2) 벵크렐(Bq)이란 방사선입자가 1초에 1번 방출되는 정도의 세기를 말합니다.
- 국제원자력기구(IAEA, International Atomic Energy Agency) 권고에 따라 우리나라는 방사성폐기물을 방사능 농도 등을 기준으로 고준위 방사성폐기물, 중준위 방사성폐기물, 저준위 방사성폐기물, 극저준위 방사성폐기물로 구분합니다.

방사성폐기물 분류 체계

구분	분류기준	예시	처분방식
고준위 방사성 폐기물	반감기 20년 이상의 알파선을 배출하는 핵종으로, 방사능 농도는 4,000Bq/g 이상이고, 열발생률은 $2\text{kW}/\text{m}^3$ 이상	사용후핵연료	심층처분 가능
중준위 방사성 폐기물	저준위 방사성폐기물의 방사능 농도 제한치 이상 (고준위 방사성폐기물 제외)	핵연료 손상기간 중에 발생된 폐수지, 폐필터 등	심층처분 또는 동굴처분 가능
저준위 방사성 폐기물	방사능 농도가 자체처분 허용농도의 100배 이상이고 저준위 방사성폐기물의 방사능 농도 제한치 미만	중준위에 해당하지 않는 잡고체, 폐수지, 폐필터 등	심층처분 또는 동굴처분 또는 표층처분 가능
극저준위 방사성 폐기물	방사능농도가 자체처분 허용농도 이상이고 자체처분 허용 농도의 100배 미만	오염도가 낮은 잡고체, 완전해체 중에 발생한 오염도가 낮은 콘크리트 등	심층처분 또는 천층처분(동굴·표층·매립형) 가능

15 고준위 방사성폐기물은 그동안 얼마나 발생했나요?

2022년 2분기 기준, 사용후핵연료 약 18,000톤(약 512,500다발)이 발생하였습니다.

- 2022년 9월 기준, 우리나라에는 24기의 상업용 원자로(경수로형 21기, 중수로형 3기)를 운영하고 있습니다.
- 2022년 2분기 기준, 경수로형 사용후핵연료 약 8,800톤 (21,205다발), 중수로형 사용후핵연료 약 9,200톤(491,276다발)이 발생하였으며, 현재 원전 부지내 저장시설에 보관되어 있습니다.
- * 중수로형 원전은 경수로형에 비해 부피와 농축도가 작기 때문에 교체주기가 짧고, 고준위 방사성폐기물의 발생량 또한 더 많습니다.

사용후핵연료 발생량

구 분	고리 (경수로형)	한빛 (경수로형)	한울 (경수로형)	새울 (경수로형)	신월성 (경수로형)	월성 (중수로형)
발생량(다발)	6,912	6,761	6,478	396	658	491,276

* 출처 : 한국수력원자력㈜

방사선의 신기한 능력들 I

연세가 어떻게 되세요? - 유물의 나이 알아내기

오래된 미술품이나 유물, 유적, 토양과 각종 물질이 과연 어느 시대의 것인지 우리는 어떻게 이들의 정확한 나이를 알 수 있을까요? 방사선의 도움을 받으면 손쉽게 해결할 수 있습니다.

가장 대표적인 방법은 미국 시카고대학의 윌러드 리비 박사팀이 1949년에 고안한 '방사성 탄소 연대측정법'입니다. 생물이 살아 있을 때는 체내 탄소-14의 비율이 공기중의 비율과 일치하는데 사후에는 시간에 따라 감소하므로 반감기를 계산하면 기간 추정이 가능해지는 원리를 이용한 방법이지요. 과거 6만년 전의 연대까지 측정할 수 있다고 합니다.



누가 이렇게 망쳤어? - 미술품 다시 살려내기



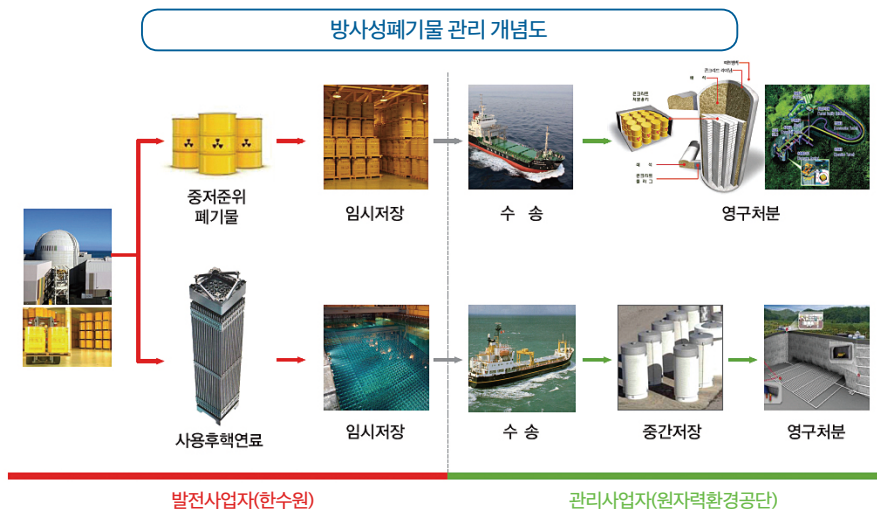
매우 값진 작품이지만 오래되어 훼손이 심각한 유화가 있다면 무척 안타깝겠지요? 걸으로 봐서는 어떤 물감을 사용했는지, 어떻게 붓질을 했는지 알 도리가 없으니 복원을 어떻게 해야 할 지도 모르겠지요? 그러나 '비파괴 검사'라는 X선 촬영을 해 보면 자세히 알아낼 수 있습니다. 방사선을

대상 물체에 쬔었을 때 투과 방사선 강도의 변화를 이용하는 것인데 이를 통해 처음에 밑그림을 어떻게 그렸고, 붓 터치는 어떤 방향으로 했는지, 두께는 어느 정도로 칠했는지를 모두 알 수 있습니다. 한마디로 훼손된 그림의 속살을 들여다 볼 수 있는 셈이지요. 이렇게 해서 다시 멋진 예술작품의 감동을 느껴 볼 수 있으니 놀랍지만 합니다.

16 임시저장시설이 무엇인가요?

중간저장시설 등 관리시설로 운반하기 전까지 사용후핵연료의 열과 방사선량을 낮추기 위해 원전 부지내에서 일정기간 관리하는 시설을 말합니다.

- 고준위 방사성폐기물(사용후핵연료)을 별도 관리사업자(한국원자력환경공단)에게 인도하기 전까지 발전사업자(한국수력원자력(주))가 원전 부지내에서 일정기간 관리하게 되는데 이를 통상 '임시저장'이라 부릅니다.
- 관행상의 용어일 뿐 법률상 공식용어는 아니며, 기본계획에서는 이를 '원전 부지내 저장시설'로 표현하고 있습니다.
- 관리사업자가 고준위 방사성폐기물을 원자력발전 사업자로부터 인수하여 저장·관리하는 '중간저장'과 다릅니다.

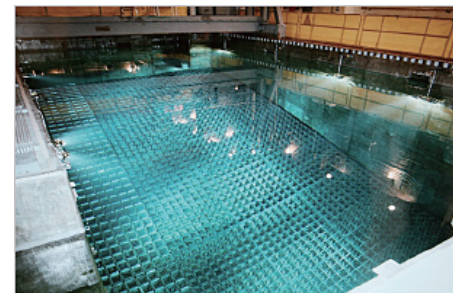


17 습식저장이 무엇인가요?

습식저장은 물로 채워진 저장수조에서 사용후핵연료의 열과 방사선량이 낮아지도록 보관하는 것을 말합니다.

- 저장수조는 모든 원전에 설치되어 있으며, 두꺼운 콘크리트 구조물에 내벽이 스테인리스강 등으로 구성된 이중구조로 설계되어 있습니다.

국내 사용후핵연료 습식저장시설



경수로형 습식저장수조



중수로형 습식저장수조

참고영상

사용후핵연료저장조 실제 현장의 모습은?
(한국수력원자력(주))



18 습식저장시설에서 사용후핵연료를 촉촉하게 저장한다는데 괜찮은가요?

괜찮습니다. 저장수조의 온도를 최대 60°C이하로 관리하고, 특수한 재질의 금속으로 만든 조밀저장대를 사용하기 때문입니다.

- 안전성이 충분히 유지되는 범위 내에서 사용후핵연료의 보관 간격을 줄여 당초보다 많은 사용후핵연료를 보관 가능하도록 하는 기술을 '조밀저장대'라고 부릅니다.
- 조밀저장대는 연쇄핵분열을 발생시키는 중성자를 흡수하는 물질(붕소)을 포함하고 있어, 안전성을 유지하면서 저장용량을 늘릴 수 있습니다.
- 조밀저장대는 우리나라 뿐 아니라 미국, 독일 등 전 세계적으로 약 120개 이상의 원전에서 사용 중인 안전성이 입증된 기술입니다.

19 건식저장이 무엇인가요?

고준위 방사성폐기물을 공기로 식히는 것을 말하며, 이미 세계적으로 상용화되어 안전하게 운영 중입니다.

- 원자로에서 나온 직후의 사용후핵연료는 물로 식혀야 하지만, 5년 이상 지나면 공기로 식혀도 충분합니다.
- 우리나라의 경우, 현재 중수로형(월성원전) 건식저장시설이 1992년부터 운영되고 있습니다.
- 건식저장은 습식저장에 비해 장기관리, 운전관리비용, 확장용이성 등에 있어 유리한 것으로 평가되고 있습니다.

월성원전 건식저장시설



건식저장시설(Concrete Silo)



조밀건식저장시설(Macstor)

* Modular Air Cooled STORage의 약자로 모듈형 공기냉각 저장시설을 의미

참고영상

건식저장은 황태덕장만 필요한 것이 아니다.
(한국수력원자력㈜)

지금껏 세상에 이런 관리는 없었다! 관리의 달인, 건식저장시설
(한국수력원자력㈜)



20 건식저장에는 어떤 방식이 있나요?

용기나 구조물의 방식에 따라 다양한 건식저장방식을 활용할 수 있습니다.

- 사용후핵연료를 담는 용기재질에 따라 크게 콘크리트와 금속용기방식으로 구분할 수 있습니다.

용기 방식



콘크리트용기



금속용기

- 구조물의 형식·시공방식에 따라 용기형, 지상건물형, 터널형, 모듈형 등으로 다시 세분화할 수 있습니다.

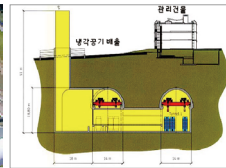
구조물 형식



용기형



지상건물형



터널형



모듈형

21 건식저장은 안전한 방식인가요?

안전합니다. 공기의 자연대류를 통해 열을 냉각하는 건식저장방식은 세계적으로 확산·보편화된 기술로서 안전성이 검증되었습니다.

- 건식저장은 사용후핵연료를 금속·콘크리트 용기 등에 담아 방사선을 막고, 공기로 자연냉각하는 방식입니다.
 - 전기가 없어도 기능을 유지할 수 있기 때문에 자연재해에도 영향이 적습니다.
- 건식저장기술은 1970년대에 개발된 이후 안전성이 충분히 검증되었으며, 세계적으로 널리 이용 중인 기술입니다.
 - 33개 원전운영국 중 24개 국가에서 원전 부지내·외 건식저장시설을 건설 또는 운영 중입니다.
 - 일본 후쿠시마 사고(2011.3월) 시에도 건식저장시설의 안전성을 확인한 바 있습니다.

참고영상

맥스터가 정말 안전할까?
(한국수력원자력㈜)





더 알아보까요?

후쿠시마 제1발전소 건식저장시설

- 후쿠시마 제1발전소의 원전 부지내 건식저장시설은 사고 당시 9개의 저장용기에 408개의 사용후핵연료를 보관하고 있었습니다.
 - 건식저장시설 건물은 후쿠시마 제1발전소의 다른 원전들과 마찬가지로 해안가에 있었으나, 지진 및 쓰나미로 인한 저장용기 및 사용후핵연료의 손상은 없었습니다.
- * 출처 : 미국 과학한림원(2016)

후쿠시마 원전 부지내 건식저장시설



* 일본 국토지리원 촬영 사진(2018)을 가공

22 건식저장시설은 방사능누출 때문에 위험하다던데요?

그렇지 않습니다. 현재 운영하고 있는 월성원전 건식저장시설의 경우에도 안전하게 관리되고 있습니다.

- 월성원전 건식저장시설 주변의 방사선량은 국내 타 지역에서 측정된 자연방사선량과 차이가 없습니다. 건식저장시설로 인해 주민들이 입는 추가적인 방사선 피폭은 없습니다.

월성원전 건식저장시설의 방사선량 비교

구분	방사선량률
월성원전 건식저장시설 주변	시간당 0.09 μSv *
우리 국토의 평상시 자연방사선량	시간당 0.05 ~ 0.30 μSv

* 1Sv = 1,000mSv = 1,000,000 μSv

- 원자력안전법은 자연방사선·치료목적 방사선 외, 추가로 노출되는 일반인의 피폭방사선량이 연간 1,000 μSv (시간당으로 단순환산시 0.114 μSv) 이내로 관리되도록 규정하고 있습니다.

참고영상

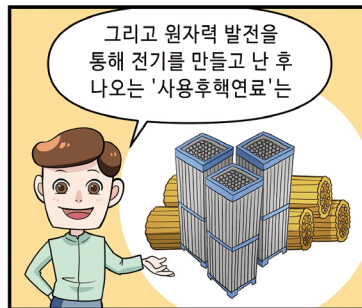
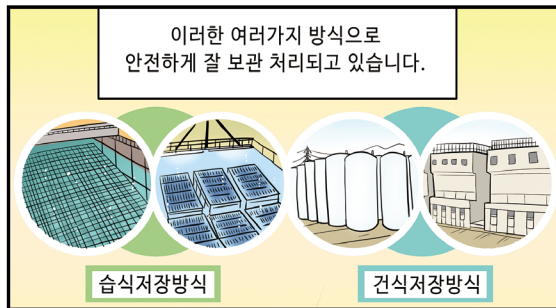
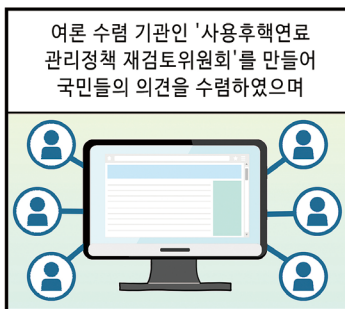
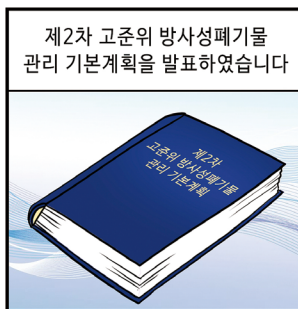
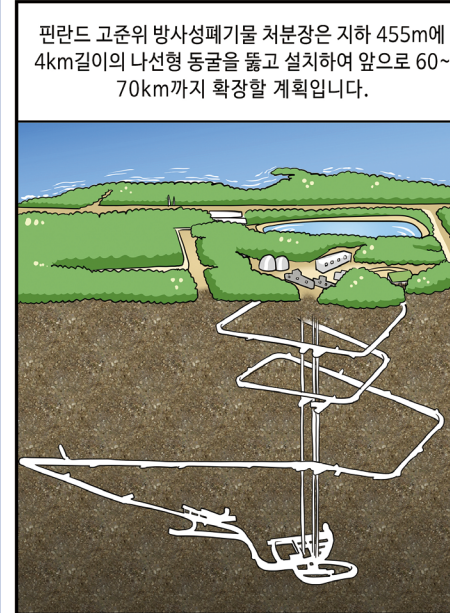
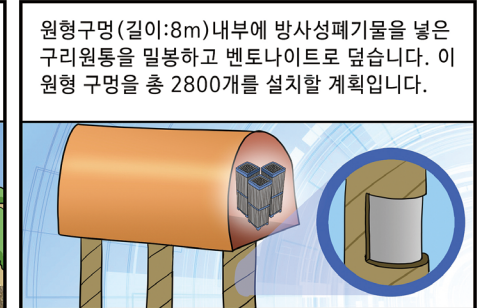
맥스터 방사선량, 직접 재보겠습니다.
(한국수력원자력(주))



방사선 노출, 어느 정도까지는 괜찮을까
(원자력안전위원회)



고준위 방사성폐기물 더욱 친환경적이고 안전하게



23 저장시설의 안전성은 어떻게 확인하나요?

원전 부지내 습식·건식저장시설은 설치·운영 간 규제기관과 발전사업자가 정기적으로 확인하고 있습니다.

- 현재 운영되고 있는 원전 부지내 습식과 건식저장시설에 대한 안전성은 원자력 규제업무를 맡고 있는 원자력안전위원회와 한국원자력안전기술원에서 검사하고 확인합니다.
 - 저장시설의 위치·구조, 성능적합성, 주변 환경에 미치는 영향 등을 면밀히 검토하고, 안전성에 이상이 없는 경우, 저장시설 설치를 허가합니다.
 - 원자력발전소 정기검사 과정에서 안전성을 지속적으로 점검·확인하고 있습니다.
- 또한, 발전사업자도 실시간으로 온도, 방사선량 등을 확인하며, 안전하게 관리하고 있습니다.

원전 부지내 건식저장시설 주요 심사항목

- 저장시설의 위치·구조·설비 및 성능적합성
 - 부지 안전성 : 지반, 지진, 사면, 수문, 사고시 피폭선량
 - 저장계통 : 하중 및 응력, 내부식성, 실증시험결과, 온도조건 등
 - 보조계통 : 용기, 방사선감시계통 등
- 주변환경에 미치는 영향 : 기체 및 액체 배출농도, 평상시 피폭선량, 사고시 피폭선량 등

24 저장시설은 지진에 대비되어 있나요?

지진에 대비하고 있습니다. 사용후핵연료 저장시설은 6.5~7.0의 지진에도 안전합니다.

- 원전은 6.5~7.0 규모의 지진이 원전부지에서 발생하여도 견딜 수 있도록 설계되어 있으며, 이는 원전 부지내 저장시설에도 동일하게 적용됩니다.
- 우리나라의 경우, 2016년 9월에 발생한 규모 5.8의 지진이 가장 큰 지진으로 기록되어 있습니다.
- 원전 부지내 저장시설은 물론, 상부에 설치된 크레인 등 관련 부속설비도 내진설계되어 안전하게 관리되고 있으며,
 - 2011년 3월, 동일본 대지진 당시 미야기현 오나가와시 주민들이 인근 오나가와 원전으로 대피한 사례도 있습니다.

지진 규모별 영향과 발생빈도

리히터 규모	지진의 피해	발생빈도
2.0 이하	느끼지 못함	하루 약 8,000회
2.0~2.9	느끼지 못하지만 기록됨	하루 약 1,000회
3.0~3.9	가끔 느끼지만 거의 영향 없음	1년 약 4,900회
4.0~4.9	실내 물물들이 흔들림. 덜컹거리는 소리	1년 약 6,200회
5.0~5.9	약한 건물들이 큰 손상을 받을 수 있음. 잘 대비된 건물들은 경미한 손상	1년 약 800회
6.0~6.9	반경 160km 내에서 파괴될 수 있음	1년 약 120회
7.0~7.9	더 큰 영역에 심각한 손상을 초래	1년 약 18회
8.0~8.9	수백km까지 큰 손상을 초래	1년 1회
9.0~9.9	수천km까지 매우 파괴적 손상을 초래	20년 1회

25 고준위 방사성폐기물 관리방법에는 어떤 것이 있나요?

일정기간 저장과정을 거친 후 '직접 처분'하거나 또는 '재처리 후 연료로 재활용한 후 처분'하는 방법이 있습니다. 다만, 두 방법 모두 처분은 필요합니다.

- 고준위 방사성폐기물은 열과 방사선량을 낮추기 위해 습식 또는 건식저장시설에서 일정기간 보관하게 됩니다.
- 저장 이후에는 국가별 관리정책과 여건(기술수준, 사회적 수용성, 정치외교적 측면 등)에 따라 '직접 처분'하는 방식을 택하거나, '재처리 후 연료로 재활용한 후 처분'하는 방식을 택하고 있습니다. 어느 경우에도 최종관리를 위해 '처분'은 필요합니다.



더 알아보까요?

주요국의 고준위 방사성폐기물 관리현황

	원전 (‘22.8)	발생량	고준위 방사성폐기물 관리			부지선정 입법화	재처리 여부
			원전 내 건식저장 (Site 기준)	중간저장	처분시설 (부지/목표시점)		
미 국	92기	84,000톤	70	Texas [*] New Mexico ^{**} * 건식/건설허가完 ** 건식/건설허가中	Mt. Yucca (사업 중단, '10) * '48년 목표	방폐물 정책법(82)	-
프랑스	56기	14,000톤	-	La Hague * 습식/재처리시설內	Meuse, Haute -Marne 경계 * '40년대 목표	-	○
중 국	55기	8,500톤	2	LNFC * 습식/재처리시설內	Beishan(北山) * '50년 목표	-	○
러시아	37기	65,600톤	-	MCC Pa Mayak * 습식·건식/ 재처리시설內	Nizhnekansky * '35년 목표	-	○
일 본	33기	19,200톤	2	Mutsu * 건식/운영준비中('23)	부지선정中 * '40년대 목표	특정방폐물 최종처분법('00)	○
한 국	24기	18,000톤	1	-	부지선정前 * '60년경 목표	-	-
인 도	22기	11,200톤	2	-	-	-	○
캐나다	19기	58,000톤	6	-	부지선정中 * '45년 前 목표	-	-
우크라이나	15기	6,300톤	2	CSFSF * 건식/운영준비中	-	방폐물 관리법(95)	-
영 국	10기	6,100톤	1	Sellafield Dounreay * 습식/가동중단 재처리시설內	부지선정中 * '40년 목표	-	○
스페인	7기	5,400톤	5	Cuenca * 건식/건설허가中	부지선정前 * '73년 목표	-	-
스웨덴	6기	7,300톤	-	CLAB * 습식	Osthammar * '35년 목표	-	-
핀란드	5기	2,300톤	-	-	Olkiluoto * '25년 목표	-	-
스위스	4기	1,500톤	1	Zwilag * 건식	잠정부지제안 * '60년 목표	-	-
독 일	3기	15,800톤	12	Gorleben Rubenow Ahaus * 건식	부지선정中 * '50년 목표	부지선정법 (‘13)	-

26 재처리가 무엇인가요?

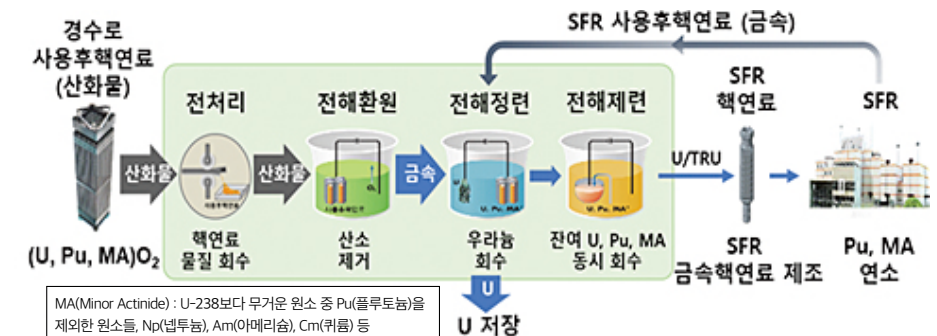
재처리(Reprocessing, 사용후핵연료 처리)는 물리적·화학적 방법을 통해 사용후핵연료에서 플루토늄, 우라늄 등 원자력발전에 이용할 수 있는 핵연료 물질을 다시 뽑아내는 과정을 의미합니다.

- 재처리는 고순도 플루토늄만을 분리하는 방식과 플루토늄을 초우라늄 원소*와 함께 한꺼번에 회수하는 방식이 있습니다.
* 우라늄보다 원자 번호가 큰 원소로 넵투늄, 플루토늄, 아메리슘, 퀴륨 등의 원소를 말합니다.
- 고순도 플루토늄만을 분리해낼 수 있는 기술로는 대표적으로 습식 재처리(PUREX)방식이 있습니다.
* 다만, 습식 재처리 방식은 프랑스 등 일부 국가에서만 제한적으로 활용되고 있습니다.
- 초우라늄 원소로 회수하는 기술로는 대표적으로 파이로 프로세싱(Pyroprocessing)이 있습니다. 이 기술은 핵확산 우려가 낮다고 여겨지나, 현재 실험단계에 머물러 있어 심도 있는 후속 연구가 필요한 상황입니다.

? 더 알아볼까요? 파이로 프로세싱

- 파이로 프로세싱은 전기분해를 통해 플루토늄과 우라늄 등을 사용후핵연료로부터 분리하는 방식입니다.
- 일반적인 재처리 방식인 습식 재처리(PUREX)와는 달리, 분리 과정에서 수용액을 사용하지 않기 때문에 건식 재처리라는 이름으로도 불립니다.
- 2011년부터 한·미 공동연구를 통해 파이로 프로세싱 기술의 타당성을 검증하고 있습니다. 핵확산 우려가 낮다는 점에서 우리나라에서도 실현가능한 재처리 방식으로 연구되고 있지만, 아직 연구단계입니다.

파이로 프로세싱 절차



27 우리나라도 재처리를 할 수 있나요?

국내 재처리는 불가능하지만, 해외 위탁재처리는 가능합니다. 다만, 신중한 검토가 필요합니다.

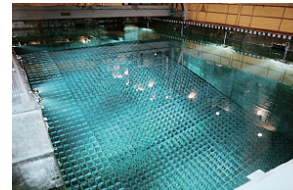
- 우리나라는 1974년 체결된 한·미원자력협력협정에 따라 재처리가 전혀 허용되지 않았지만, 2015년 개정되어 해외 위탁재처리를 할 수 있게 되었습니다.
- 다만, 위탁재처리 정책의 채택 여부는 경제성과 안전성, 국민 수용성, 핵비확산 문제 등을 종합적으로 고려하여 결정해야 합니다.

28 고준위 방사성폐기물은 현재 어떻게 관리되고 있나요?

원전 부지내 저장시설에 안전하게 보관·관리하고 있습니다.

- 경수로형은 습식저장시설에, 중수로형은 건식과 습식저장시설에 나누어 관리하고 있습니다.

습식저장시설



건식저장시설



- 다만, 2031년 고리원전과 한빛원전부터 습식저장시설의 저장용량이 가득 차게 되어 대책마련이 시급한 상황입니다.

원전본부별 사용후핵연료 발생전망과 포화시점

구 분	고리 (경수로형)	한빛 (경수로형)	한울 (경수로형)	새울 (경수로형)	신월성 (경수로형)	월성 (중수로형)
발생전망(다발)	10,253	10,660	18,740	15,260	3,565	576,851
포화율	83.8%	74.2%	80.8%	19.0%	62.9%	98.8%
포화시점	2031년	2031년	2032년	2066년	2044년	-

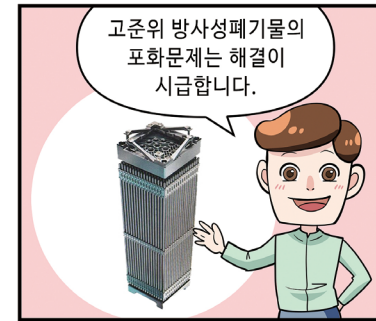
* 출처 : 제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획(2021.12월)

29 원전 부지내에서 계속 관리하면 안 되나요?

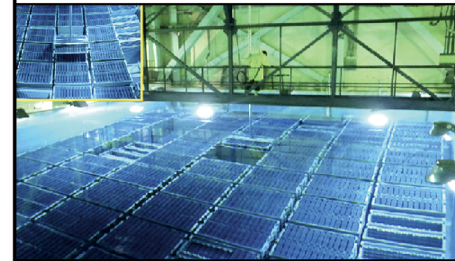
원전 부지내에 고준위 방사성폐기물을 관리하는 것은 불가피하게 한시적으로 이루어지는 조치입니다.

- 원전 부지내 저장은 원전의 안정적 운영을 위해 한시적으로 관리하는 것이며, 중간저장시설이 확보되면, 국가 관리정책에 따라 지체 없이 이전할 계획입니다.
- 고준위 방사성폐기물은 안전한 관리를 위하여 궁극적으로 영구처분시설을 마련하여 인간생활권으로부터 영구히 격리해야 하는 물질입니다.
- 따라서, 원전 부지내에 고준위 방사성폐기물을 계속 관리하는 것은 지속가능한 관리방안이 아닙니다.

고준위 방사성 폐기물은 꼭



고준위 방사성폐기물 관리문제는



꼭 국민과의 소통에 기초해 관리가 되어야 합니다.



최우선은



사용후핵연료,
필수적이고
귀중한
정보집

02



2부

고준위 방사성폐기물은
어떻게 관리하나요?

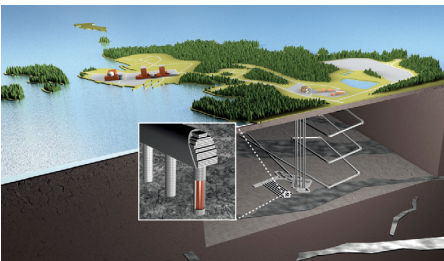


30 영구처분이 무엇인가요?

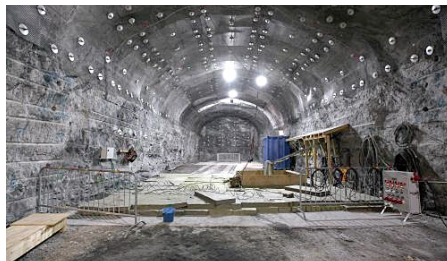
고준위 방사성폐기물을 인간의 관리 없이 영구적으로 인간 생활권에서 격리하는 것을 의미합니다.

- 영구처분은 고준위 방사성폐기물에서 나오는 높은 열과 방사선량으로부터 인간과 환경에 대한 위해를 방지하기 위해 반드시 필요합니다.
- 국제원자력기구(IAEA)에서는 영구처분 방식으로 심층처분을 권고하고 있습니다.
- 핀란드에서는 규제기관의 허가를 받아 2025년 운영을 목표로 현재 심층처분시설을 건설 중에 있습니다.

핀란드 심층처분시설 개념도



핀란드 심층처분시설 건설 전경



참고영상

코라와 함께 알아보는 '영구처분'
(한국원자력환경공단)

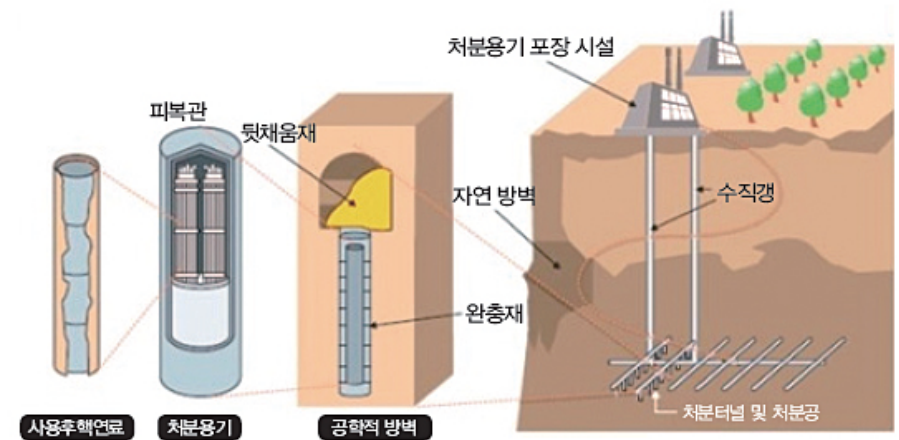


31 심층처분방식이 무엇인가요?

고준위 방사성폐기물을 처분용기에 담아 지하 500~1,000m 깊이의 자연 암반에 묻는 것을 말합니다.

- 심층처분은 다중방벽시스템을 적용하고 있습니다. 다중방벽시스템이란, 사용후핵연료에 포함된 방사성 물질의 이동과 지하수와 접촉을 최대한 억제하기 위해 설치되는 처분용기 등과 같은 공학적 방벽과 안정적인 암반인 천연방벽 등 여러 겹의 방벽을 활용하는 것을 의미합니다.
- 핀란드의 경우, 지하 500m 암반에 인허가용 지하연구시설을 만들어 11년간 안전성을 검증하고, 고준위 방사성폐기물을 4중으로 밀봉하여 처분하도록 심층처분시설을 설계하였습니다.

고준위 방사성폐기물 심층처분 개념도



4중 밀봉개념: ① 고준위 방사성폐기물이 삽입된 금속 캐니스터 ② 캐니스터를 담아 밀봉하는 구리 재질의 처분용기 ③ 처분용기를 넣은 암반터널 입구를 채우는 완충재(벤토나이트) ④ 천연암반

32 처분용기는 어떻게 만들어지나요?

처분용기는 높은 열과 압력 조건에서 장기간 안전하도록 설계되며, 구리와 주철 등을 사용하여 제작됩니다.

- 처분용기는 부식과 외부충격에 강한 재질이어야 하며, 방사선 붕괴열, 지압, 지하의 높은 열과 지하수 압력 등 여러 요인에 대해서도 안전성을 확보할 수 있어야 합니다.
 - 핀란드와 스웨덴은 내식성이 강한 구리와 고압을 견딜 수 있는 주철을 사용한 금속용기를 사용합니다.
- 세계 각국은 지하연구시설에서 처분용기 재질이 장기적으로 안전하게 기능을 유지하는지 연구를 진행하고 있습니다.

처분용기



* 출처 : Canister Design 2012(POSIVA 2012-13) 보고서



* 출처 : Science 홈페이지

33 다른 나라의 부지선정 사례는 어떤가요?

세계적으로 부지선정에 어려움이 많았습니다. 이는 기술적인 어려움보다 주민동의를 구하기 어려웠기 때문입니다.

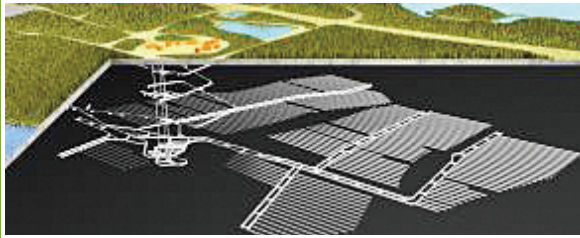
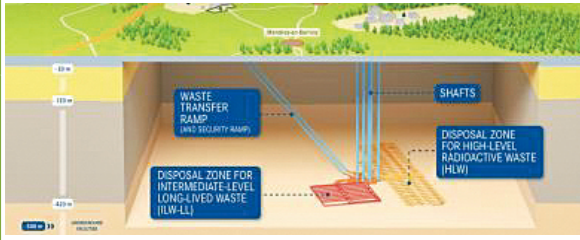
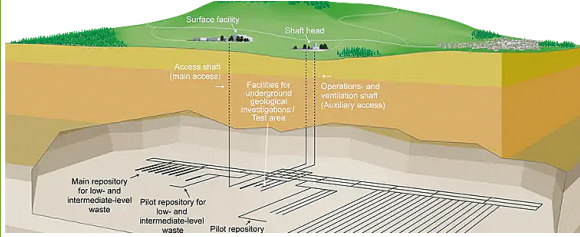
- 미국은 1987년 제정한 방사성폐기물정책법(Nuclear Waste Policy Act)에 따라 네바다주 유카마운틴을 부지로 결정하였으나 2010년에 철회한 후 부지선정을 다시 추진하고 있습니다.
 - 네바다주에는 이미 핵무기 실험장이 있어서, 고준위 방사성폐기물 처분장 건설에 대한 반대가 많아서 결국 2010년 부지 선정을 철회하였습니다.
 - 이러한 경험 때문에 2010년에 구성된 미국 블루리본위원회(BRC)는 지역동의를 토대로 처분장을 확보할 것을 권고하였습니다.
- 핀란드의 경우, 투명한 정보공개와 규제기관에 대한 높은 신뢰를 바탕으로 과학적인 절차를 거쳐 처분 부지를 확보하였으며, 2025년 운영을 목표로 현재 처분시설을 건설 중에 있습니다.
- 우리나라도 해외 사례와 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 부지선정사례를 참고하여 특별법에 고준위 방사성폐기물 관리시설 부지선정절차를 담아 국민적 공감하에 추진해 나갈 것입니다.

영구처분, 꼭 필요한가요?



더 알아보까요?

주요국의 고준위 방사성폐기물 처분시설 현황

처분시설 확보 연혁	처분시설 현황								
<div></div> <div>핀란드</div> <div><ul style="list-style-type: none">• 처분부지 조사 착수(83년)• 처분부지 선정(01년)• 처분시설 건설허가 신청(12년)• 처분시설 건설허가(15년)• 처분시설 건설착수(16년)• 처분시설 운영허가 신청(21년)• 처분시설 운영(25년, 예정)</div>	<div></div> <table><tr><td>관리</td><td>POSIVA(원전社 공동출자)</td><td>면적</td><td>약 2 km²</td></tr><tr><td>위치</td><td>Olkiluoto</td><td>용량</td><td>약 6,500톤</td></tr></table>	관리	POSIVA(원전社 공동출자)	면적	약 2 km ²	위치	Olkiluoto	용량	약 6,500톤
관리	POSIVA(원전社 공동출자)	면적	약 2 km ²						
위치	Olkiluoto	용량	약 6,500톤						
<div></div> <div>스웨덴</div> <div><ul style="list-style-type: none">• 처분부지 선정절차 발표(92년)• 처분부지 선정(09년)• 처분시설 건설허가 신청(11년)• 처분시설 건설허가(22년)• 처분시설 운영(35년, 예정)</div>	<div></div> <table><tr><td>관리</td><td>SKB(원전社 공동출자)</td><td>면적</td><td>약 4 km²</td></tr><tr><td>위치</td><td>Östhammar</td><td>용량</td><td>약 12,000톤</td></tr></table>	관리	SKB(원전社 공동출자)	면적	약 4 km ²	위치	Östhammar	용량	약 12,000톤
관리	SKB(원전社 공동출자)	면적	약 4 km ²						
위치	Östhammar	용량	약 12,000톤						
<div></div> <div>프랑스</div> <div><ul style="list-style-type: none">• 처분부지 선정(10년)• 처분시설 개념설계 발표(12년)• 처분시설 상세설계 착수(16년)• 처분시설 건설허가 신청(22년, 예정)• 처분시설 운영(40년대, 예정)</div>	<div></div> <table><tr><td>관리</td><td>ANDRA(공사)</td><td>면적</td><td>약 15 km²</td></tr><tr><td>위치</td><td>Meuse, Haute-Marne</td><td>용량</td><td>-</td></tr></table>	관리	ANDRA(공사)	면적	약 15 km ²	위치	Meuse, Haute-Marne	용량	-
관리	ANDRA(공사)	면적	약 15 km ²						
위치	Meuse, Haute-Marne	용량	-						
<div></div> <div>스위스</div> <div><ul style="list-style-type: none">• 처분부지 선정절차 착수(08년)• 3개 후보부지 선정(18년)• 처분 적합부지 발표(22년)• 처분부지 결정(29년, 예정)• 처분시설 운영(60년, 예정)</div>	<div></div> <table><tr><td>관리</td><td>NAGRA(국가-발전사 조합)</td><td>면적</td><td>약 2 km²</td></tr><tr><td>위치</td><td>Nördlich Lägern</td><td>용량</td><td>-</td></tr></table>	관리	NAGRA(국가-발전사 조합)	면적	약 2 km ²	위치	Nördlich Lägern	용량	-
관리	NAGRA(국가-발전사 조합)	면적	약 2 km ²						
위치	Nördlich Lägern	용량	-						

34 경주에 방폐장이 있다면, 처분시설이 또 필요한가요?

경주 방폐장은 중·저준위 방사성폐기물만 처분하는 시설이므로 고준위 방사성폐기물을 관리하기 위해서는 별도의 처분장이 필요합니다.

- 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설은 원자력발전소에서 사용된 장갑, 작업복, 폐필터 등 방사선 세기가 낮은 중·저준위 방사성폐기물만을 처분하도록 허가받은 처분시설입니다.
※ 경주 방폐장의 공식명칭은 「경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설」입니다.
- 높은 열과 방사선량을 가진 고준위 방사성폐기물인 사용후핵연료는 보다 안정된 지하 500m 이상의 암반에 묻어야 합니다.
- 미국, 프랑스, 일본 등 국가들도 중·저준위 방사성폐기물 처분장을 운영하고 있지만, 고준위 방사성폐기물 처분장 부지를 별도로 마련하기 위해 노력하고 있습니다.

35 무인도에 처분시설을 만들면 안 되나요?

지질학적으로 안정되고 법에서 규정한 부지요건을 만족한다면 무인도에 고준위 방사성폐기물 관리시설을 건설할 수도 있습니다.

- 고준위 방사성폐기물 관리시설 부지는 현행법에서 규정한 부지요건을 만족하는지 과학·기술적 조사를 통해 확인하여야 합니다.

심층처분시설 위치에 관한 기술기준

- 원자력안전위원회 규칙 제29호 '방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙'
 1. 인구밀집지역으로부터 떨어진 곳일 것
 2. 해안지역에 위치한 경우에는 해수에 의한 심각한 영향을 받지 않는 곳일 것
 3. 처분시설의 안전을 위하여 주변지역이 지질학적으로 안정된 곳일 것
 4. 기후변화 등이 처분시설의 안전성에 심각한 영향을 미치지 않는 심부에 위치할 것
 5. 지층의 암석은 방사성물질의 이동을 억제할 수 있도록 침투성·다공성 및 확산성이 낮을 것
 6. 지하매질은 방사성물질의 붕괴열 등이 처분시설의 안전성에 심각한 영향을 미치지 않는 곳일 것
 7. 지표수 및 지하수로부터 멀리 떨어진 곳일 것
 8. 석유·천연가스 등 인화성 광물질의 매장지역으로부터 멀리 떨어진 곳일 것

* 세부기술기준은 원자력안전위원회 고시 「고준위 방사성폐기물 심층처분시설에 관한 일반기준」참고

36 고준위 방사성폐기물을 안전하게 처분할 수 있나요?

가능합니다. 지하 500~1,000m 심도에 처분함으로써 아주 오랜 시간이 흘러도 인간생활권에 영향을 미치지 않도록 할 수 있습니다.

- 고준위 방사성폐기물의 방사능이 자연의 우라늄 수준으로 떨어지려면 길게는 10만년 정도가 지나야 한다고 알려져 있습니다.
- 고준위 방사성폐기물을 지하 500~1,000m까지 깊이 처분하는 이유는 인간생활권에서 안전하게 격리하기 위함이며, 처분부지의 암반은 견고한 단일암반이어야 하고, 화산, 지진, 활동성 단층 등으로부터 안전한 곳이어야 합니다.
- 지질학적으로는 고준위 방사성폐기물을 안전하게 처분할 수 있는 곳이 넓게 분포되어 있습니다. 이러한 곳을 찾아 고준위 방사성폐기물을 처분하는 기술이 이미 실현되었습니다.
 - 핀란드는 1980년부터 연구를 시작해서 올킬루오토라는 고준위 방사성폐기물 처분에 적합한 지역을 찾았으며, 고준위 방사성폐기물 관리 전담기관인 POSIVA사에서는 2025년부터 처분시설을 운영할 계획입니다.



참고영상

지진의 규모와 진도
(기상청)



37 영구처분시설 부지는 어떠한 요건을 만족해야 되나요?

처분의 안전성을 위해 부지는 기상조건, 지표면의 상태, 지표수 및 지하수의 분포, 생태학적 특징 등의 조건을 충족해야 합니다.

- 추가적으로 원자력안전위원회는 △처분시설 안전운영에 영향을 미치지 않을 것, △자원탐사 등 지하개발활동이 일어날 가능성이 낮을 것, △활동성 단층지역에 속하지 않아야 하고, △용기나 침강 등의 영향이 낮을 것 등을 요구하고 있습니다.
- 해외 주요국들도 다양한 지질 및 인문사회 요소에 대해 각국의 지질환경 여건에 맞는 기준을 확정하여 적용하고 있습니다.
 - 지질 : 암종, 연성·취성지질구조, 지진활동, 지형경사, 용기·침강, 지하수 함양·배출, 광물학적 특성, 천연자원 등
 - 인문사회 : 인구, 사회기반시설, 보호구역, 토지소유 등

해외 주요국의 영구처분시설 세부 부지요건

	핀란드	<ul style="list-style-type: none"> • 암종은 화강암을 선호하며, 약 5~6km²의 적당한 크기와 균질성을 가질 것 • 가능한 한 낮은 지형경사를 가질 것 • 경제적으로 유용한 광물이 존재하거나 존재할 수 있는 지질학적 형상이 있는 부지는 제외할 것 등
	스웨덴	<ul style="list-style-type: none"> • 암종은 화강암을 선호하며, 화산암, 퇴적암, 기타암종을 비선호 암종으로 분류 • 지형경사는 광역 규모에서 0.1~1% 이내를 선호 • 용기로 인해 영향을 받지 않은 깊이는 지하 500m 이하 • 국가보호지역은 피할 것 • 도로와 공항은 고려대상에 제외 등

38 지하연구시설에서는 무엇을 하나요?

처분시스템의 장기성과 안전성을 실증하기 위한 다양한 연구가 이루어집니다.

- 지하연구시설(Underground Research Laboratory, URL)에서는 영구처분시설을 건설하기 전 땅속 환경을 조사·시험·검증하고, 안전한 처분시설을 설계하기 위하여 일련의 활동들을 수행합니다.
 - 구체적으로 우리나라 고유의 암반특성을 파악하고, 성능 및 안전성을 입증하기 위해 암반 내 지하수와 방사성핵종의 이동, 열역학적 특성, 처분용기 및 완충재에 대한 성능 등을 연구합니다.
- 지하연구시설은 통상적으로 영구처분시설이 들어서는 곳과 유사한 지질환경을 보유한 부지를 선정하여 건설하며, 그 목적에 따라 연구용과 인허가용으로 구분합니다.
 - 연구용은 기반암 관련 데이터베이스 구축, 안전성평가를 위한 모델시험 및 검증, 처분개념 연구 및 실증시험 등이 주목적이며, 처분부지와 직접적 연관은 없습니다.
 - 인허가용은 처분시설 인허가 취득을 위한 세부 지질자료 확보와 최종적인 안전성 입증에 주목적으로, 처분부지 내에 설치됩니다.

참고영상

코리아 함께 알아보는 '사용후핵연료의 운반 및 지하연구시설'
(한국원자력환경공단)





더 알아보까요?

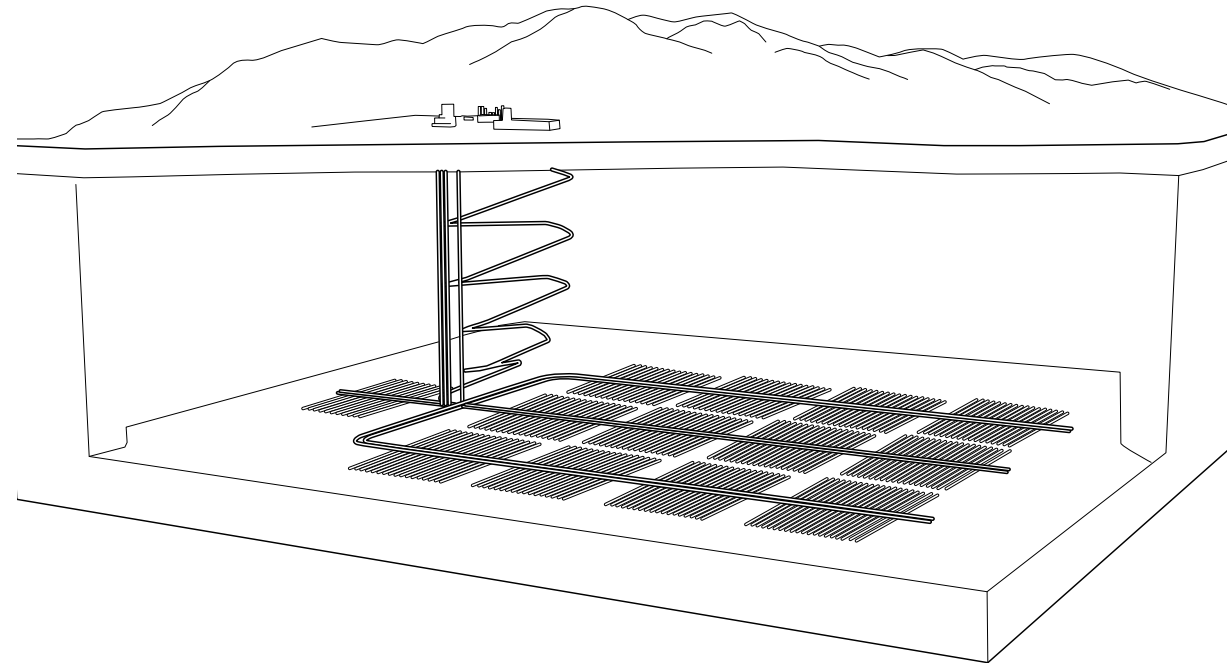
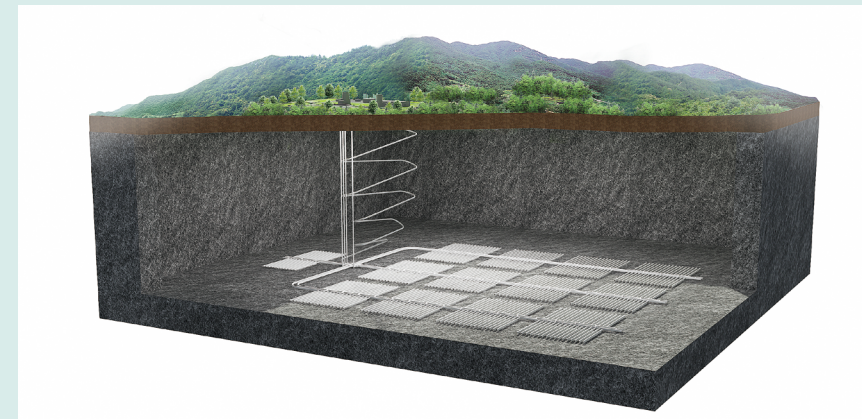
주요국의 지하연구시설

- 영구처분을 결정한 국가들 대부분이 지하연구시설을 건설하여 운영하고 있습니다.

구 분	국 가	사 설 명	암 종	심 도
연구용	미국	G-Tunnel 	응회암	300m
	스웨덴	Äspö 	화강암	240~460m
	스위스	Grimsel 	화강암	450m
		Mont Terri 	퇴적암	400m
	일 본	Mizunami 	화강암	현재 300~500m
		Horonobe 	퇴적암	500m
	캐나다	Whiteshell 	화강암	240~420m
인허가용	프랑스	Meuse/Haute Marne 	퇴적암	450~500m
	핀란드	Onkalo 	화강암	500m

컬러링북

고준위 방사성폐기물 처분시설 조감도



39 고준위 방사성폐기물은 어떻게 운반하나요?

방사선을 막을 수 있는 용기에 담아 육상 또는 해상으로 운반합니다.

- 원전 부지내에서 발전소간 운반할 때에는 전용운반차량을 이용하여 육상 운반합니다.
- 반면, 원전부지 외부로 고준위 방사성폐기물을 운반하여야 할 때에는 원전과 관리시설(중간저장시설, 영구처분시설)간 거리와 운반조건 등을 고려하여 전용선박을 이용한 해상운반*을 하는 것이 보편적입니다.

* 육상운반은 100톤 이상의 운반용기 무게를 견딜 수 있는 전용도로가 필요하기 때문에 현실적으로 쉽지 않습니다.

육상운반



해상운반



40 운반과정에서 안전성에는 문제가 없나요?

문제 없습니다. 방사선 차폐와 사고시 안전성 등을 충분히 검증하고, 테러 등 위협을 방지하는 조치를 한 뒤 운반합니다.

- 원자력안전위원회는 운반 중 사고에서도 방사능 누출이 없도록 운반용기를 충분히 안전하게 설계하여 사용하도록 규정하고 있습니다.

- 운반용기*는 운반시 사고 발생까지도 고려하여 낙하, 파열, 침수, 화재 등의 가혹한 조건에서도 방사성물질의 누설이 없는지를 확인·검증합니다.

* 9m 높이에서의 낙하, 200m 물에 침수, 800℃ 화재에 30분간 노출 등의 시험을 거칩니다.

- 해상운반의 경우에도, 프랑스·영국·스웨덴 등 해외 국가들이 수백 차례 운반한 경험이 있지만, 지금까지 단 한 번의 사고기록도 없었으며,

- 국제원자력기구(IAEA), 국제해사기구, 국내 법령에서는 엄격한 기준을 충족하는 특수선박*, 운반용기, 항만시설 등을 갖추도록 요구하고 있습니다.

* 이중으로 된 선체, 방사능차폐, 화물배치, 사고시 복원성, 방화구조 및 소방설비 등 특별한 성능을 요구하고 있습니다.

- 기술적 조치 외에도 운반과정에서의 테러 등 위협을 방지하기 위해 무장 경찰관과 같은 호위, 군·경찰 등 외부 대응인력과 통신체계 유지운반 등 물리적 방호 조치를 시행합니다.

41 고준위 방사성폐기물 저장용기에는 어떤 종류가 있나요?

재질에 따라 크게 콘크리트용기와 금속용기로 구분됩니다.

- 금속용기는 운반·저장 이중용도(Dual Purpose)로 개발되고 있습니다.
- 금속검용 용기는 초기 투자비용은 다소 높지만, 별도의 운반용기가 필요 없고, 운반·저장작업의 안전성이나 작업공정을 단순화시킬 수 있다는 장점이 있습니다.
- 콘크리트 용기는 금속용기와 비교하여 내열성, 내충격성, 냉각성능은 다소 낮으나, 금속용기에 비해 제작비용이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있습니다.
- 두 용기 모두 안전성 확보에는 문제가 없으며, 금속으로 만들어진 캐니스터 용기 안에 고준위 방사성폐기물을 넣어 밀폐(격납)하고, 이 캐니스터를 용기 안에 넣어 관리한다는 방식은 동일합니다.

콘크리트용기



금속용기



아이언맨 슈트의 비밀

쉬어가는
페이지

‘테러리스트의 공격에 패한 토니에게 남은 단 한 벌의 아이언맨 슈트. 위기에 처한 세상과 사랑하는 사람을 구하기 위해 토니는 인공지능으로 작동하는 슈트를 만들고 테러리스트와의 일전을 준비’하는 것이 영화 ‘아이언맨3’의 줄거리입니다.

레이저 무기

- 손바닥에서 레이저 발사
- 무기로 쓰려면 트럭 크기 장치 필요

금·티타늄 합금

- 금과 티타늄 섞은 합금
- 실제 두 금속은 섞이지 않음



소형 아르코원자로

- 핵융합 이용한 원자로
- 상온 작동 불가. 초기 기술 개발 중

아이언맨의 여러 가지 비장의 무기중 단연 중요한 것은 가슴에 장착된 ‘소형 아르코원자로’입니다. 아르코원자로란 두 개의 가벼운 원소가 만나 무거운 원소로 변하면서 에너지를 발생시키는 ‘핵융합’반응을 이용하는 것입니다. 현재로서는 핵융합은 미래의 에너지원으로 기대하고 연구하는 단계이지만, 핵융합에 사용하는 중수소와 삼중수소 5g만 있으면 석유 5만ℓ에 해당하는 에너지를 만들어낼 수 있다니 대단한 기술이지요?

아이언맨과 관련하여 재미있는 이야기가 있는데, 영국에서 누군가가 초강력 무기와 최첨단 소재를 사용한 아이언맨 슈트 구입에 필요한 돈을 계산해 보니 우리나라 돈으로 약 2조원이 필요하다고 하네요. 정말 영웅이 되는 것은 여러모로 힘든 것 같습니다.

42 중간저장시설 부지는 어떤 조건을 만족해야 하나요?

안전성과 관련된 지질학적·인문사회학적 특성 등을 만족하여야 합니다.

- 규제기관인 원자력안전위원회는 중간저장시설을 활동성 단층, 지진, 항공기, 가스·석유 등 위험물, 해일·태풍 등 자연현상, 지하수 등의 영향을 고려하여 안전한 곳에 위치하도록 규정하고 있습니다.
- 다만, 중간저장시설은 처분시설과 달리 위치를 지상 또는 지하로 제한하고 있지 않습니다. 미국과 독일 등 대다수 국가들이 지상에 중간저장시설을 설치·운영하고 있지만, 스웨덴의 경우, 지하에 중간저장시설을 운영하고 있습니다.

중간저장시설 위치에 관한 기술기준

- 원자력안전위원회 규칙 제29호 '방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙'
 1. 인구밀집지역으로부터 떨어진 곳일 것
 2. 지진·지질학적 특성을 조사·평가한 결과 장애가 없는 곳일 것
 3. 산업·수송 및 군사시설로 인한 인위적 사건의 영향을 평가한 결과 장애가 없는 곳일 것
 4. 당해 시설로부터 방사성물질이 대기로 방출되는 경우의 확산 및 희석 특성을 조사·평가한 결과 주변의 대기환경에 장애가 없는 곳일 것
 5. 해일·회오리바람·태풍·홍수·폭설 또는 폭우 등의 자연현상을 조사·평가한 결과 그것이 중대한 사고의 원인이 될 수 없는 곳일 것
 6. 저수지·댐의 유실과 빗물 등에 의한 하천범람의 영향이 없는 곳일 것
 7. 지표수 및 지하수의 수문학적 특성을 조사·평가한 결과 주변의 수중환경에 장애가 없는 곳일 것

* 세부기술기준은 원자력안전위원회 고시「사용후핵연료 중간저장시설의 위치에 관한 기술기준」참고



더 알아볼까요?

해외 원전부지 외 저장시설 운영·추진현황

- 33개국 중 14개국이 원전부지 외부에 저장시설을 운영하고 있거나, 건설을 추진 중입니다.

국 가	저장방식	현 황	
미 국	건식 1개 (추진 중)	• Texas에 부지 확보, 규제기관 인허가('21.9)	
	습식 1개	• 재처리시설용으로 인허가('71.12) 후 저장시설로 운영 중	
프랑스	습식 1개	• 재처리시설(La Hague) 내에서 저장시설 운영 중('76~)	
일본	건식 1개	• Mutsu에서 저장시설 건설中('10~) → '23년 운영 목표	
	습식 2개	• 재처리시설(Tokai, Rokkasho) 내에서 저장시설 운영 중('77~, '99~)	
러시아	건식 1개	• 재처리시설(MCC) 내에서 저장시설 운영 중('11~)	
	습식 2개	• 재처리시설(Pa Mayak, MCC) 내에서 저장시설 운영 중('75~, '85~)	
독일	건식 3개	• Gorleben, Ahaus, Rubenow에서 운영 중 → 단, 신규반입 없음	
우크라이나	건식 1개	• Chernobyl 제한구역에 건설 중(CSFSF)	
중국	습식 1개	• 재처리시설(LNFC) 내에서 저장시설 운영 중('03~)	
영국	습식 2개	• 재처리시설(Sellafield, Dounreay) 내에서 저장시설 운영 중('64~, '82~)	
스페인	건식 1개 (추진 중)	• Cuenca에 부지 확보('12), 건설허가 중	
스웨덴	습식 1개	• Oskarshamn 원전 인근에서 저장시설(Clab) 운영 중('85~)	
스위스	건식 1개	• Wuerenlingen에서 저장시설(Zwilag) 운영 중('01~)	
불가리아	습식 1개	• Kozloduy 원전 인근에서 저장시설 운영 중 ('04~)	
슬로바키아	습식 1개	• Bohunice에서 중간저장시설 운영 중('87~)	
네덜란드	건식 1개	• Nieuwdrop에서 저장시설 운영 중('03~)	

43 중간저장시설은 왜 필요한가요?

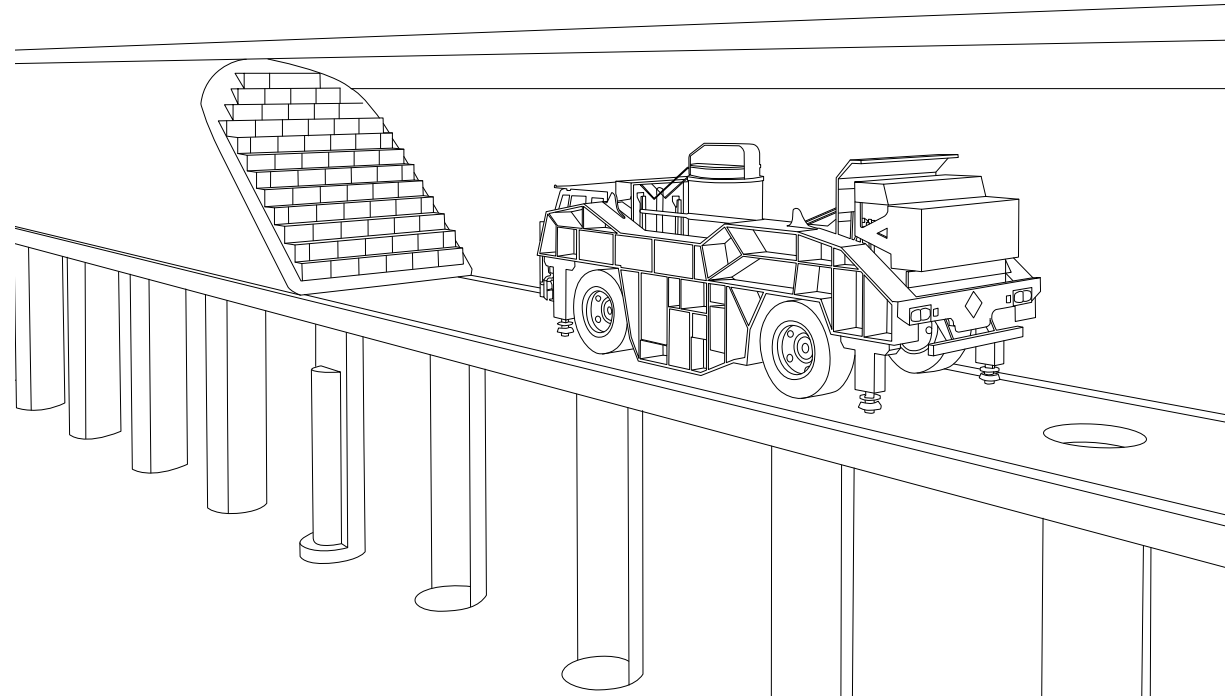
영구처분 전 고준위 방사성폐기물을 국가 책임 하에서 안전하게 관리하기 위함입니다.

- 고준위 방사성폐기물은 궁극적으로는 처분해야 하나, 현실적으로 영구처분시설을 확보하기까지는 상당히 오랜 시간이 걸립니다.
- 2021년 「제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획」에서는 국가가 가능한 한 빠르게 고준위 방사성폐기물을 안전하게 관리할 수 있도록 중간저장시설을 영구처분시설과 동일부지에 확보하도록 했습니다.

고준위 방사성폐기물 관리정책 로드맵



컬러링북 지하처분터널 개념도



44 고준위 방사성폐기물을 관리하기 위해 어떻게 할 건가요?

부지선정 업무를 조속히 진행할 예정이며, 이를 제도화하기 위한 법률 마련이 필요합니다.

- 고준위 방사성폐기물 관리문제 해결에는 과학적 합리성에 기반한 안전관리 기술확보와 함께 광범위한 국민적 공감대가 필요합니다.
- 오랜 시간이 걸리더라도 부지선정 등 관련 업무를 흔들림 없이 수행하고, 발생 가능한 사회적 갈등을 예방하기 위해서는 다른 무엇보다 법률 제정이 최우선 되어야 합니다.
- 해외 여러 나라 또한, 관련 법률을 마련하여 고준위 방사성폐기물 관리 사업을 추진하고 있습니다.

해외 주요국의 법제도 사례

국가	법률명	주요 내용
 미국	방사성폐기물정책법(82)	• 처분장 부지 선정 절차, 중간저장시설 저장, 운반, 연구개발, 기금 등
 프랑스	방사성폐기물관리계획법(06)	• 방폐물관리 조사·연구방침, 국가계획 작성, 처분장 건설 승인신청 등
 독일	고준위 방폐물 최종처분장 부지조사와 선정에 관한 법률(17)	• 부지선정 절차, 선정 기준, 의견수렴 체계, 비용 등
 일본	특정방사성폐기물 최종처분에 관한 법률(00)	• 기본방침, 부지선정 절차, 최종처분 실시, 관리기관 설립·운영
 핀란드	원자력법(87)	• 의회에 처분시설 등 주요 시설 최종 건설허가 부여

45 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획이 뭔가요?

「방사성폐기물 관리법」에 따라 부지선정방법과 절차, 기술개발방향 등 고준위 방사성폐기물 관리에 관한 내용 전반을 다루는 계획입니다.

- 「방사성폐기물 관리법」은 방사성폐기물을 안전하고 효율적으로 관리하기 위하여 매 5년 마다 '기본계획'을 수립하도록 명시하고 있습니다.
- 기본계획은 원자력진흥위원회*의 심의·의결을 거쳐 확정하며, 지금까지 총 2차례 수립(2016년, 2021년)되었습니다.

* 원자력 이용에 관한 주요사항을 심의·의결하기 위하여 설치한 국무총리 소속 위원회입니다.

- 제1차 기본계획은 사용후핵연료 공론화위원회에 의한 공론화(2013~2015년, 온라인 방문 제외 총 27,120명 참여)를 거쳐 2016년 7월 수립되었습니다.

- 제2차 기본계획은 사용후핵연료 관리정책 재검토위원회에 의한 공론화(2019~2021년, 총 34,193명 참여)를 거쳐 2021년 12월 수립되었습니다.

고준위 방사성폐기물 관리 기본계획 작성항목

- ① 방사성폐기물 관리의 기본정책에 관한 사항
- ② 방사성폐기물의 발생 현황과 전망에 관한 사항
- ③ 방사성폐기물 관리시설의 부지선정 등 시설계획에 관한 사항
- ④ 방사성폐기물 관리시설에 대한 투자계획에 대한 사항
- ⑤ 그 밖에 방사성폐기물 관리를 위하여 필요한 사항으로서 산업통상자원부장관령으로 정하는 사항(국민 이해증진, 기술개발에 관한 사항 등)

참고영상

제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획 7대 중점과제
(한국원자력환경공단)





더 알아보까요?

재검토위원회 권고안 주요내용

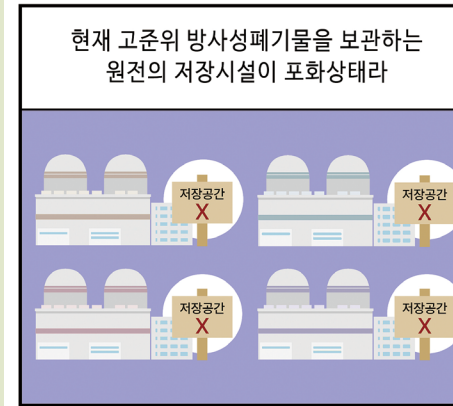
- 특별법 제정
 - '과학기술적 타당성'과 '국민·주민 수용성'을 모두 확보할 수 있는 관리시설 부지선정 원칙과 절차를 마련하여 법률에 명확하게 규정
 - 관리시설 지역사회 전체에 혜택이 골고루 전파될 수 있는 합리적 유치지역 지원원칙·범위·방식, 주민의견수렴방안 등 법제화
 - 사용후핵연료 임시저장시설의 정의와 건설 절차를 법·제도적으로 정비하고, 합리적 지역지원 방안 마련
- 독립적 행정위원회 신설
 - 장기적 시각에서 기술·사회적 측면의 다양한 이해관계를 종합적으로 고려하여 정책을 결정·집행할 수 있는 '독립적 행정위원회 신설'
- 그 밖의 권고사항
 - 기존 관리원칙에 더해 (미래세대를 고려한) 의사결정의 가역성 원칙과 (기술발전을 감안한) 회수가능성 등 선진 관리원칙 추가
 - 관리시설에 대해서는 영구처분시설과 중간저장시설 모두 필요하며, 두 시설은 동일 부지에 설치
 - 사용후핵연료의 발생량·포화전망 추정시 전문가들의 다양한 의견을 검토하고, 추정방법과 결과는 적극 공개하는 등 투명성을 강화
 - 사용후핵연료 기술개발과 관리정책 간의 선후관계를 정립하고, 처분방식의 안전성과 타당성 검증기술 확보

46 '의사결정의 가역성', '회수가능성'이 무슨 말인가요?

국가 정책 방향을 수정하거나 이미 고준위 방사성폐기물을 처분한 경우에도 되돌릴 수 있다는 것을 의미합니다.

- '가역성'은 사전적으로 '본래 상태로 되돌릴 수 있음'을 의미하며, 고준위 방사성폐기물 관리에 있어 '의사결정의 가역성'이란, 관리 사업을 추진하는 중 처음 또는 이전단계로 돌아가 최적의 해법을 다시 검토해 보는 것을 의미합니다.
 - 관리 사업 추진 중 중대한 문제점이 발견된 경우 또는 기술 발전에 따라 정책 변화가 필요한 경우 등에 대응하기 위함입니다.
- '고준위 방사성폐기물의 회수가능성' 역시, 더 좋은 영구처분기술이 개발되는 등 기술발전 및 안전성에 대한 여건 변화 시, 이미 처분한 고준위 방사성폐기물일지라도 다시 꺼낼 수 있는 것을 의미합니다.

우리 모두 함께 해결해요



47 고준위 방사성폐기물 관리시설 부지선정은 어떻게 진행되나요?

총 5단계로 나누어 13년간 진행할 계획입니다.

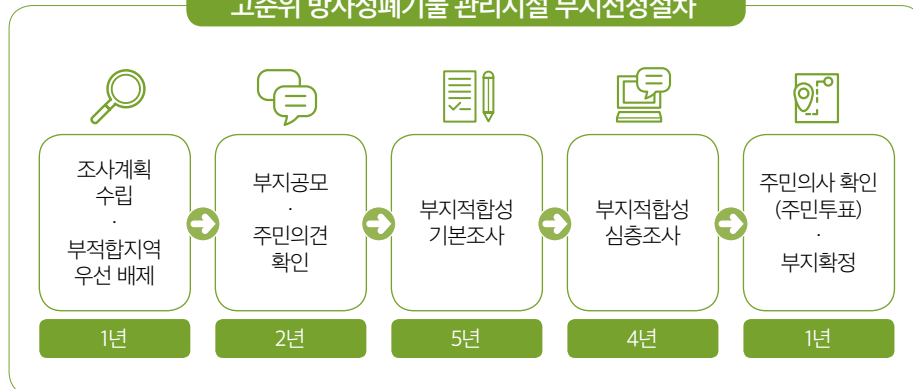
- 먼저 조사 전반의 계획을 사전에 공표하고, 문헌조사 등을 통해 부지로 부적합한 지역을 우선적으로 제외합니다. 이후 나머지 지역을 대상으로 공모 절차를 진행합니다.
- 신청한 부지를 대상으로 두 단계(기본·심층조사)에 걸쳐 부지의 지질·지하수 특성 등을 조사하고, 적합 지역에 대해 최종적인 주민의사를 확인하여 관리시설 부지를 확정합니다.

48 유치지역에 대한 지원은 어떻게 할 건가요?

‘안전하고 살기 좋은 지역’을 만든다는 기본 원칙으로 효과적이고 지속가능한 지역지원이 이루어지도록 할 계획입니다.

- 원자력에너지를 통한 전기의 혜택은 전 국민이 누리지만 관리시설 운영에 따른 부담은 특정 지역에 한정되므로, 유치지역에 대한 특별한 지원은 필요합니다.
- 유치지역 지원사업을 관리하는 「유치지역지원위원회」를 설치하고, 향후 부지선정 등 절차가 진행되는 시점 이전에 △ 특별지원금, △ 공공기관 지방이전, △ 관리사업자 지원사업, △ 지역주민 우선 고용 등의 합리적인 지원방안을 마련할 것입니다.

고준위 방사성폐기물 관리시설 부지선정절차



방사선의 신기한 능력들 II

쉬어가는
페이지

난 역을해 - 나폴레옹의 사인(死因)을 밝혀내다

유럽 곳곳을 정복하면서 명성을 떨치던 나폴레옹은 연속된 패배 끝에 결국은 유배지인 세인트 헬레나섬에서 1821년 위암으로 죽음을 맞이합니다. 그런데 1961년 스웨덴의 치과의사이자 내과 의사였던 포르슈훗이 '누가 나폴레옹을 죽였는가?'라는 책을 발표하면서 독살설이 제기되었습니다. 생전에 나폴레옹이 친지들에게 나눠준 머리카락을 분석한 결과 다량의 비소가 검출되었다고 밝혔습니다.

실제로 1995년에는 미연방수사국(FBI)의 법의학 책임자가 방사선조사 방법을 사용해 나폴레옹 임종 시 그의 하인이 채취했던 머리카락을 조사한 결과 정상인의 38배가 넘는 비소를 발견합니다. 이처럼 죽음의 미스터리를 밝혀내는 법의학에서도 방사선은 매우 중요한 역할을 합니다.

누가 가짜래? - 진짜 와인 감별하기

미국에서는 진짜 와인과 가짜 와인을 판별하는 기준이 방사선이 들어 있는지 아닌지 여부라고 합니다. 대기 중의 탄소에는 약 10억분의 1 정도의 비율로 방사선을 내는 '방사성 탄소'가 존재하며, 이들이 포도를 비롯한 여러 생물들의 몸속에도 대기에서와 같은 비율로 들어 있습니다. 즉 포도로 만든 진짜 와인에서는 일정량의 방사선이 나오지만 화학적으로 합성한 알코올에 포도 향을 첨가해서 그럴듯하게 맛만 낸 가짜 와인에서는 방사선이 거의 나오지 않습니다.

이러한 성질을 활용해서 진짜 와인과 가짜 와인을 판별할 수 있습니다.



49 우리나라의 고준위 방사성폐기물 관련 기술수준은 어느 정도인가요?

2022년 10월 산·학·연 전문가그룹을 대상으로 기술수준을 조사한 결과, 우리나라는 대체로 추격그룹(60~80%)에 속해 있는 것으로 평가되었습니다.

- 분야별로 살펴보면 최고 선도국 대비 △ 운반 약 81%, △ 저장 약 79%, △ 부지평가 약 63%, △ 처분 약 57%로 잠정 평가하였습니다.

최고 선도국 대비 기술수준 분석결과(잠정)

구분	운 반	저 장	부지평가	처 분
 최고 선도국	미 국	미 국	스웨덴	핀란드
 평균 기술수준(%)	80.8 (70~100)	79.1 (70~100)	63.2 (52~72)	56.6 (31~90)
 평균 기술격차(년)	3.0	4.0	7.1	8.6

* 출처 : 고준위 방사성폐기물 관리 기술수준조사 보고서(2022.10월)

50 어떤 기술이 확보되었고, 앞으로 어떤 기술을 확보해야 하나요?

104개 필요기술 중 22개 기술은 이미 확보하였으며, 49개 기술은 현재 기술개발이 진행 중입니다. 나머지 33개 기술은 향후 연구개발이 필요한 상황입니다.

- 104개 기술 중 22개 기술은 즉시 적용 또는 경미한 사항 보완 후 즉시 활용 가능한 것으로 평가하고 있습니다.
- 이외 49개 기술은 현재 정부 주도 R&D를 통해 기술개발을 진행하고 있습니다.
- 단, 부지 장기변화 예측모델링 등 33개 기술은 추가 연구개발이 필요한 상황이며, 특히, 저장과 처분분야에 미확보(개발 필요) 기술이 상대적으로 많습니다.

분야별 필요기술 확보현황(잠정)

분 야	이미 확보	미 확보			합 계
		개발 중	개발 필요	소 계	
 운 반	3	1	6	7	10
 저 장	4	4	12	16	20
 부지평가	9	14	5	19	28
 처 분	6	30	10	40	46
합 계	22	49	33	82	104

* 출처 : 고준위 방사성폐기물 관리 기술수준조사 보고서(2022.10월)

51 미확보 기술은 어떻게 확보할 건가요?

미확보 기술들은 R&D 투자확대, 국제협력, 전문인력 양성 등을 통해 사업 추진 과정에서 차질이 없도록 확보해 나갈 계획입니다.

- 향후 2060년까지 총 1조 4,000억원의 예산을 투입하여 관련 기술개발을 적극 뒷받침하고 분야별 선도국과의 협력을 강화해 나갈 계획입니다.
- 아울러, 기술개발로드맵의 주기적 보완·개정, R&D 전문인력 양성, 기관간 역할분담 등 기술개발기반도 함께 정비·확충해 나감으로써 목표기한 내 필요기술들을 차질 없이 확보할 것입니다.

52 고준위 방사성폐기물 관리 인력은 충분한가요?

부지선정착수시점을 기준으로 점진적 증가세가 예상되는 만큼, 선제적 준비가 필요한 상황입니다.

- 현재 고준위 방사성폐기물 관리업무에 종사하고 있는 전문인력은 약 130여명으로 해외 주요국과 비교할 때에도 적은 수준입니다.
- 더군다나, 부지선정 착수 이후 고준위 방사성폐기물 관리 소요인력은 최대 약 1,400여명 수준까지 증가할 것으로 예상되는 등 인력양성의 중요성과 필요성이 더욱 강조되고 있습니다.
- 이에 따라 「제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획」에서 제시한 인력양성방향을 바탕으로 전문인력 양성을 위한 세부 추진계획을 수립·이행해 나가겠습니다.

제2차 고준위 방사성폐기물 인력양성방향(기본계획)

- ① 전담기관(관리사업자) 중심으로 「산·학·연 인력양성 협업체계」를 구성하여 연계 교육, 인력-기관 매칭 등 인력 순환 시스템 구축
- ② 해외 방폐물 관리기관과 상호 인력교류, 공동연구 협업체계를 통한 인력 관리 노하우 등 습득
- ③ 고준위 방폐물 관리기술 전문인력의 안정적 공급을 위해 「(가칭) 방폐기술인력 개발원·신설(또는 지정) 추진 등 인력양성 기반 지속 확충

상상과 현실



2차 세계대전을 기화로 원자력에 대한 관심은 여러 가지 탈 것들에도 옮겨갔습니다.

영화에 원자력자동차가 등장한 것은 1980년대 들어서이지만, 원자력자동차에 대한 기술적 구현은 이미 1950년부터 시작되었습니다. 구 소련이 구상한 'TES-3'와 미국 포드의 '누클레온'이 대표적인 사례입니다. 현존하는 원자력자동차로는 화성에 착륙해 탐사임무를 수행하고 있는 '큐리오시티'가 유일하지요.

선박에 원자력을 이용한 것은 1954년에 미국이 개발한 핵잠수함 노틸러스호가 처음입니다. 그리고 1960년에 역시 미국이 핵항공모함 엔터프라이즈호를 개발하였습니다. 이 두 사례는 모두 군사적 이용이 목적이었습니다만 북극항로를 자주 이용하는 러시아는 1959년에 원자력쇄빙선 레닌호를 개발하고 미국은 1962년에 원자력 추진 상선 사바나호를 진수하여 평화적인 이용 사례를 보여주었습니다.

비행기에 원자력을 이용하려는 시도는 미국에서 1955년에 있었으나 수년 간에 걸친 시험비행 끝에 결국 실패로 마무리 되고 말았습니다.

영화 '백 투 더 퓨처'에 등장하는 '드로리언'은 원자력 배터리로 움직이는 타임머신인데, 이러한 시간을 움직이는 꿈의 자동차가 나온다면 단연 최고의 탈 것이 되겠지요?

사용후핵연료,
필수적이고
귀중한
정보집

03

3부

고준위 방사성폐기물 알쓸신잡

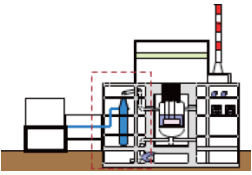
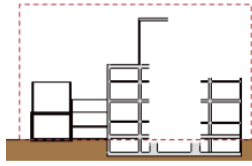


53 원전을 해체하면 사용후핵연료도 해체해야 하나요?

사용후핵연료는 해체하지 않습니다. 다만, 원전을 해체할 경우, 사용후핵연료는 해당 호기 외부의 별도 저장시설로 옮겨 안전하게 보관해야만 합니다.

- '원전해체'란 원전에 있는 모든 시설과 장비들을 안전하게 해체하여 자연상태로 되돌리는 일련의 행위를 말하는데, 통상 15년 정도 소요됩니다.
- 원전해체 시 사용후핵연료를 보관하는 습식저장시설도 함께 해체해야 하므로 사용후핵연료를 해체대상 호기 외부의 다른 장소로 옮겨야 합니다.

원전 해체 예상도

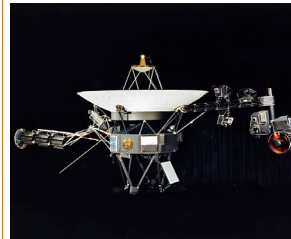
해체준비 (2년 이상)	사용후핵연료 냉각·반출 (5년이상)	제염·철거 (5~6년이상)	부지복원 (2~3년)
			
<ul style="list-style-type: none"> • 운영변경허가 • 해체조직 구성 	<ul style="list-style-type: none"> • 해체공정설계 • 핵연료 반출 및 안전관리 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 원자로 원격절단·제염 • 건물·시설 철거 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 방폐물 처분 • 부지복원 처리 등

54 사용후핵연료에서 발생하는 열을 에너지원으로 활용할 수는 없나요?

사용후핵연료는 붕괴열이 발생한다는 점에서 원자력전지와 비슷하지만 발생열량이 작아 에너지원으로 활용하기는 어렵습니다.

- 원자력발전소에서 배출된 사용후핵연료는 원전 내 습식저장시설에서 약 5년정도 냉각을 거칩니다. 습식저장시설에서 냉각과정을 거친 사용후핵연료는 한 다발(673kg)당 약 1kW 정도의 열이 발생하게 되는데 이는 가정용 다리미에서 발생하는 열과 비슷한 수준에 불과합니다.
- 또한, 사용후핵연료에서 발생하는 열은 시간이 지남에 따라 점차 감소하므로 지속가능한 에너지원이 될 수 없습니다.
- 방사성 동위원소에서 발생하는 붕괴열을 이용하는 원자력전지는 사용후핵연료와 달리 우주탐사 등에 널리 사용되고 있습니다.

원자력전지 이용 현황

Pu-238 전지	보이저 호	NASA 큐리오시티 로버
		
* 출처 : 한국원자력연구원	* 출처 : JPL NASA 공식홈페이지	* 출처 : NASA 홈페이지

수소에 색상이 있다?

쉬어가는
페이지

기후위기를 몸소 체감하고 있는 요즘, 기후위기의 주범이라 불리는 온실가스를 가장 많이 배출하는 화석에너지원을 대체할 다양한 방법들이 논의되고 있는데, 그 중에서도 '수소(H₂)'가 가장 주목을 받고 있습니다.

수소는 우주 질량의 75%를 차지할 정도로 무한하며, 연소하더라도 공해 물질을 내뿜지 않아 석탄, 석유를 대체할 무공해 청정에너지원으로 불립니다.

수소는 생산 방식에 따라 색상을 부여해서 구분합니다. 원자력을 이용해 수소를 생산하는 방식에는 3가지(레드, 퍼플, 핑크)가 있는데 그 중 '핑크 수소'가 그린 수소의 단점인 경제성 문제를 해결할 수 있는 키로 주목받고 있습니다.

핑크 수소란 물을 원료로 활용하여 원전에서 발생하는 전기와 열을 이용해 수소를 생산하는 방식입니다. 원전에서 나오는 전력 중 사용하지 않고 남은 전력과 원자로에서 발생해 버려지는 열을 활용하면 탄소 배출량을 최소화하면서도 안정적으로 수소를 생산할 수 있습니다.

현재 세계 각국에서 원전을 활용해 수소를 생산하기 위한 실증 프로젝트를 진행하고 있으며 우리나라도 관련 연구 과제를 추진하고 있습니다. 자원이 부족한 우리나라는 원자력을 활용한 청정수소를 개발하면 증가하는 수소 수요에 대비한 에너지 안보에 많은 기여를 할 수 있을 것입니다.

수소 생산 방법 및 색상 코드

색상코드	에너지원	원료	공정	결과물
BLUE	천연가스 (또는 원자력 열)	천연가스 + 수증기	증기개질+CCS	H ₂ +O ₂ (포집)
RED	원자력 열	H ₂ O	열화학분해(~950℃)	H ₂ +O ₂
PURPLE	원자력 열+전기	H ₂ O	열화학+전기분해 (650~850℃)	H ₂ +O ₂
PINK	원자력 열+열	H ₂ O	전기분해 (20~80 또는 650~850℃)	H ₂ +O ₂
GREEN	재생에너지 전기	H ₂ O	전기분해	H ₂ +O ₂

55 사용후핵연료도 핵폭탄처럼 폭발하나요?

폭발하지 않습니다. 연쇄핵폭발을 일으킬 수 있는 우라늄(U-235) 농축도가 1% 정도에 불과하기 때문입니다.

- 핵폭탄은 우라늄(U-235) 농축도가 90%를 넘지만, 사용후핵연료의 우라늄 농축도는 1% 수준이기 때문에 폭발하지 않습니다.
- 연탄에 불이 붙으려면 충분한 양의 석탄함량과 공기, 그리고 불씨가 있어야 합니다.
- 그러나, 사용후핵연료에는 우라늄의 양(석탄함량)이 부족하고, 흡수물질이 핵분열을 시키는 중성자(불씨)를 잡아두기 때문에 폭발할 위험이 전혀 없습니다.

원자폭탄의 종류와 폭발조건

- 농축도 90%이상의 우라늄-235가 핵폭발에 필요한 최소질량인 52kg을 넘으면 폭발할 수 있는 반면, 플루토늄은 10kg만 되어도 폭발할 수 있습니다.

구 분	폭발조건	사 례
우라늄 폭탄	농축도 90% 이상의 우라늄-235(52kg 이상)	히로시마 투하
플루토늄 폭탄	순수한 플루토늄-239(10kg 이상)	나가사키 투하

참고영상

원자력발전, 원자 폭탄이란 뭐가 다른데?
(한국수력원자력(주))



56 고준위 방사성폐기물을 우주나 바다에 처분할 수는 없나요?

우주처분은 비용 문제 및 실패 위험성이 있고, 해양처분은 국제조약 상 금지되어 있어 두 방안 모두 불가능합니다.

- 해양처분, 빙하처분, 우주처분 등은 국제조약과 실현가능성 등을 고려할 때 적합한 방식이 아닙니다.
- 국제원자력기구(IAEA)에서도 안전성을 담보할 수 있는 심층처분 방식을 권고하고 있습니다.

고준위 방사성폐기물 영구처분방식

방 식	기본개념	비 고
해양 처분	고준위 방사성폐기물을 포장상태로 해양투기하여 해저 면에 도달 후 시간이 지남에 따라 방사성 핵종은 바다 속에서 분산되어 희석되는 방식	1990년 런던 투기협정 (London Dumping Convention) 체결로 해양처분 금지
빙하 처분	그린란드와 남극대륙 등에 있는 안정된 빙하에 처분하는 방식	1961년 남극조약(Antarctic Treaty) 체결로 빙하처분 금지
우주 처분	고준위 방사성폐기물을 우주 공간 또는 태양으로 방출하여 지구로부터 영구 격리하는 방식	인간 및 환경으로부터 완전 격리가 가능하나, 처분 과정의 고비용과 발사실패 위험 때문에 연구 중단
심층 처분	인간의 생활권으로부터 영구 격리하기 위해 부식과 압력에 장기간 견딜 수 있는 처분 용기에 고준위 방사성폐기물을 넣고 지하 깊은 곳(500~1,000m)에 처분하는 방식	안전성 관점에서 가장 적절한 처분방식으로 권고

57 습식저장에서 사용된 물은 어떻게 처리하나요?

재활용하되, 최종적으로는 액체 방사성폐기물 처리절차에 따라서 안전하게 처분합니다.

- 습식저장시설은 사용후핵연료의 핵분열 방지, 방사선 차단, 붕괴열 냉각을 위해 봉산을 녹인 봉산수를 사용하고 있습니다.
- 원전 가동기간 동안 이 물은 펌프를 이용하여 수질관리 장치, 냉각장치 등을 계속 순환하며 재활용되고 있습니다.
- 습식저장시설의 봉산수는 원전을 해체할 때 방사성물질을 최대한 제거하고, 필요시에는 증발·농축 등의 처리과정을 거쳐 처분하게 됩니다.

58 중간저장시설과 영구처분시설을 왜 같은 부지에 만드나요?

고준위 방사성폐기물의 이동을 최소화하기 위하여 중간저장시설과 영구처분시설을 동일부지에 건설할 계획입니다.

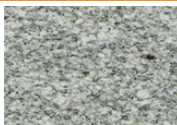
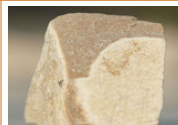
- 미국 원자력규제위원회(NRC)는 운반·저장 횟수를 최소화하는 것이 좋다고 권고하고 있습니다.
 - 또한 중간저장시설과 영구처분시설을 같은 부지에 설치하는 것은 국토의 효율적 이용, 관리시설의 보안·안전관리 측면에서 유리합니다.
- 지난 두 차례 진행한 공론화(1차 : 2013.10월~2015.6월, 2차 : 2019.5월~ 2021.4월) 결과 모두 같은 부지 내에 중간저장시설과 영구처분시설을 확보할 것을 권고하였습니다.

59 연구용 지하연구시설은 해외시설을 활용하면 안 되나요?

우리나라의 암반과 환경적 특성이 일치하는 시설이 필요하므로, 연구용 지하연구시설을 국내에 확보할 필요가 있습니다.

- 우리나라 고유의 부지특성을 파악하고, 관련 기술개발을 수행하기 위해서는 연구용 지하연구시설이 필요하며,
 - 관련 규정*에서도 처분부지선정과 시설설계·건설 등을 수행함에 있어 지하연구시설 연구결과에 바탕을 두도록 명시하고 있습니다.
- * 고준위 방사성폐기물 심층처분시설에 관한 일반기준(원자력안전위원회 고시) 제8조 : 심층처분시설의 부지선정과 설계, 건설, 운영, 폐쇄 및 폐쇄 후 관리 등 전체단계의 제반사항은 지하연구시설에서 수행한 연구결과에 바탕을 두어야 한다.
- 해외 주요 선도국들도 자국 처분환경과 유사한 연구용 지하연구시설을 확보하여 오랜 기간 기술개발을 진행해 왔습니다.

운영 중인 해외 연구용 지하연구시설

구 분	 스웨덴	 스위스	 일본	
시설명	아스포(Äspö) 	그림셀(Grimsel) 	몬테리(Mont Terri) 	호로노베(Horonobe) 
	심도(m)	460	450	400
암 반	 섬록암	 화강암	 퇴적암	 퇴적암
	지하수	염수	담수	

60 부지선정을 하기 위한 조건은 무엇인가요?

△ 과학적 합리성과 민주성에 기초한 부지선정절차 마련, △ 실효성 있는 지역지원방안 제시, △ 법률 제정 등이 필요합니다.

- 과거 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 유치 경험과 해외 사례에 비추어 볼 때 다음과 같은 전제조건을 만족해야 합니다.
- 첫째, 면밀한 지질조사를 통해 부지 적합성과 안전성을 확인하고, 지역주민의 자발적 참여를 보장할 수 있는 과학적이고 민주적인 부지선정절차를 마련해야 합니다.
- 둘째, 유치지역의 지속가능한 발전과 주민복리향상을 뒷받침할 수 있는 실효성 있는 지원방안이 제시되어야 합니다.
- 셋째, 부지선정업무에 착수하기 전 이러한 내용을 담은 법률 제정이 선행되어야 합니다.
 - 부지선정절차와 지역지원에 관한 사항을 법률에 명확히 규정함으로써 부지선정업무를 일관성 있게 추진하고, 일반국민과 지역주민의 신뢰를 확보할 수 있어야 성공적 부지선정이 가능할 것입니다.

61 경주도 유치지역이 될 수 있나요?

중·저준위 방사성폐기물 처분시설이 있는 경주시는 현행법상 유치지역이 될 수 없습니다.

- 「중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 유치지역지원에 관한 특별법」 제18조 (사용후핵연료 관련 시설의 건설 제한)에 따르면, 중·저준위 방사성폐기물 처분장이 있는 지역에는 중간저장시설, 영구처분시설 등 사용후핵연료의 관련 시설을 지을 수 없습니다.

중·저준위 방사성폐기물 처분시설 조감도



천마총의 기술이 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분장에

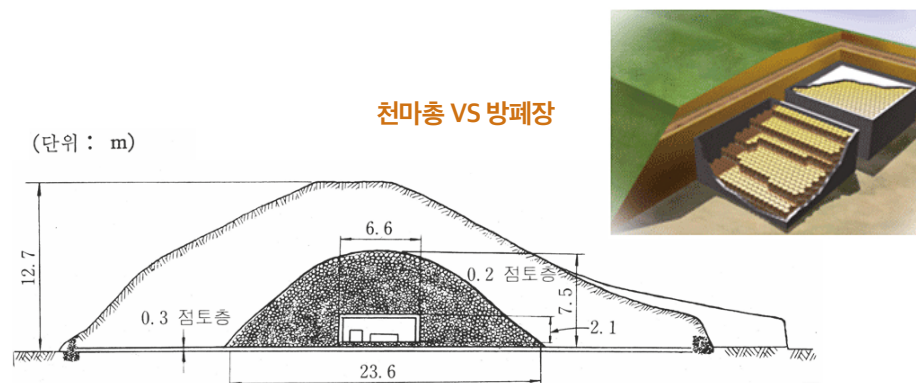
쉬어가는
페이지

경주의 대표적 유적지로는 불국사, 석굴암, 첨성대 그리고 천마총 등을 들 수 있습니다. 천마총은 다수의 국보급 유물을 포함하여 1만여 점의 유물이 출토되었고, 무엇보다 순백의 천마 한 마리가 하늘로 날아 올라가는 그림이 그려진 자작나무 껍질로 만든 천마도장니(天馬圖障泥)가 유명합니다. 그리고 우여곡절 끝에 경주에 자리를 잡게 된 중·저준위 방사성폐기물 처분장과의 인연도 특별합니다.

경주 방폐장은 2005년에 부지를 정한 후 1단계는 동굴방식으로 처분장을 건설하여 운영하고 있습니다. 지금은 2단계 처분장을 준비하고 있는데 표층방식으로서 천마총 축조 방식과 아주 유사합니다.

천마총은 먼저 땅을 잘 고른 다음 진흙을 깔고 진흙층 위에 다시 냇돌을 깔고 냇돌층 위에 목곽을 설치하였습니다. 목곽 위를 다시 냇돌로 쌓아 덮고 그 냇돌층을 진흙으로 발라 다졌으며 마지막으로 흙을 쌓아 봉분을 만들었습니다. 이렇게 만들어진 천마총은 수명이 없는 자연물질을 사용해서 물이 들어가지 않고 안의 내용물을 잘 보존할 수 있었습니다.

1,500년 이상 튼튼하고 한결같은 모습을 지켜온 천마총을 축조한 선조들의 지혜와 세계 최정상급 대한민국의 토목과 과학기술이 잘 조화되는 경주 방폐장. 더욱 믿음직스럽습니다.



62 처분부지를 선정할 때 주민 의견은 어떻게 확인하나요?

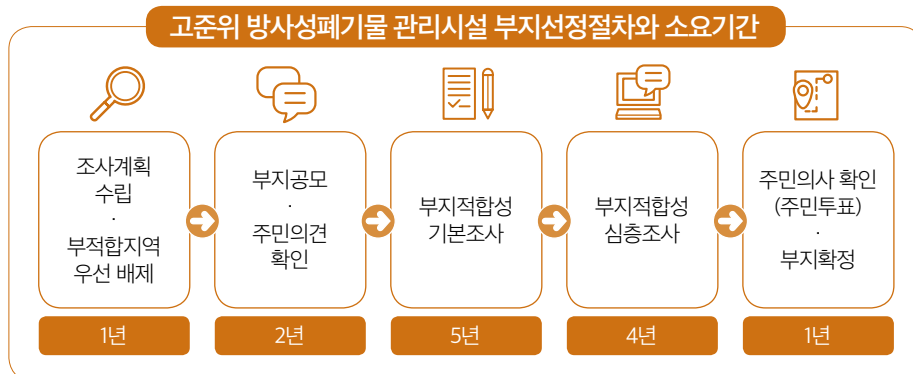
자율공모, 주민투표 등을 통해 의사가 충분히 반영되도록 할 것입니다.

- 정부는 지난 30여 년 간 추진해 온 방사성폐기물 관리사업의 경험을 통해 주민 수용성과 기술적 신뢰성 확보가 문제 해결의 열쇠라는 것을 인식하였습니다.
- 2005년 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설은 지방자치단체 자율공모와 주민의사를 확인하는 주민투표를 통해 유치에 성공할 수 있었습니다.
- 고준위 방사성폐기물 관리시설 부지선정 또한, 부지공모 시 주민의견을 확인하고, 최종 부지확정 전 주민투표를 실시하는 등 주민참여와 민주적 절차에 기반하여 진행할 계획입니다.

63 부지선정기간을 두고, 짧다, 길다는 의견이 많던데요?

해외사례조사와 전문가 검토과정을 거쳐 부지선정기간(13년)을 도출하였습니다. 적정하다는 것이 많은 전문가들의 의견입니다.

- 고준위 방사성폐기물 관리시설 부지선정은 조사계획 수립 후 부지확정까지 약 13년 소요될 것으로 예상됩니다.
- * 지하심부환경에 대한 조사와 주민의사 확인에 필요한 최소기간이며, 각 단계별 소요기간은 진행사항에 따라 탄력적으로 대응해 나갈 예정입니다.



- 세계 최초로 고준위 방사성폐기물 처분시설을 건설 중인 핀란드의 경우, 1983년부터 부지선정에 착수, 2001년 의회의 승인을 얻기까지 총 18년간 부지선정업무를 진행하였습니다.
- * 잠재부지 도출(101개) → 예비조사(5개) → 상세조사(4개) → 지자체 의견수렴 → 후보부지 선정(1개) → 지방의회 동의 → 국회 비준 → 최종 선정
- 우리나라의 경우, 핀란드 등에 비해 수치상 부지선정기간은 짧으나, 해외 선도국의 연구 성과를 활용하고, 차질 없는 연구개발이 이루어진다면, 13년 내 부지선정이 충분히 가능할 것이라고 보고 있습니다.

64 고준위 방사성폐기물 관리에 필요한 예산은 충분한가요?

고준위 방사성폐기물 관리에 소요되는 비용이 부족하지 않도록 방사성폐기물 관리법 제28조에 따라 방사성폐기물관리기금을 설치하여 적립합니다.

- 발전사업자인 한국수력원자력(주)가 고준위 방사성폐기물의 종류에 따라 납부하는 부담금으로 고준위 방사성폐기물 관리에 필요한 비용을 적립하고 있습니다.
 - ▶ 경수로형 : 다발당 약 3.2억원
 - ▶ 중수로형 : 다발당 약 1,320만원
- * 원전 부지내에서 발전사업자가 관리하는 비용을 제외한 고준위 방사성폐기물의 운반, 중간저장, 처분비용 등을 반영하여 적립 금액을 산정
- 2021년까지 적립한 금액은 11조원 정도이며, 적립 단가는 매 2년마다 전문가들이 상황 변화 등을 고려하여 적정성을 검토합니다.

65 정부가 발표하는 포화시점은 왜 바뀌는 건가요?

저장방식의 개선, 실제 원전 운영가동률과 예측치와의 차이로 인해 포화시점이 바뀌게 됩니다.

- 저장시설 포화시점은 시간의 경과에 따라 저장용량, 발생량 변동으로 인해 불가피하게 변경되는 상황이 발생합니다.
- 그간 저장방식의 개선에 따라 기존의 저장 시설에서도 사용후핵연료 저장용량을 안전하게 늘릴 수 있게 되었고, 원전가동률이 계획과 달라지기도 하므로 실제 발생하는 사용후핵연료의 양도 달라집니다.

66 저장시설이 없으면, 원전해체도 불가능한 것 아닌가요?

맞습니다. 원전해체 과정에서 나오는 사용후핵연료를 옮겨서 저장할 시설이 필요합니다.

- 원전을 해체할 때에는 사용후핵연료가 보관된 습식저장시설도 함께 해체해야 합니다. 따라서, 사용후핵연료를 옮겨서 안전하게 관리할 수 있는 별도 저장공간이 필요할 수 밖에 없습니다.
- 고리원전의 경우, 원전 부지내 건식저장시설을 추가로 확보하여 고리1호기 해체를 진행할 계획입니다.

원전 본부별 사용후핵연료 예상 포화시점

	고리(경)	한빛(경)	한울(경)	새울(경)	신월성(경)	월성(중)
포화율	83.8%	74.2%	80.8%	19.0%	62.9%	98.8%
포화시점	2031년	2031년	2032년	2066년	2044년	

* 출처: 제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획(2021.12월)

67 고준위 방사성폐기물 관리를 위한 별도의 위원회가 필요한가요?

필요합니다. 고준위 방사성폐기물 관리사업은 객관성과 투명성이 중요하기 때문입니다.

- 고준위 방사성폐기물 관리 위원회를 별도로 설치하여 개방적이고 투명한 의사결정 체계를 마련하고, 민간 전문가의 참여를 제도적으로 보장할 필요가 있습니다.
- 사용후핵연료 관리정책 재검토위원회('19.5월~'21.4월)는 제3의 독립적인 행정위원회* 신설이 필요하다고 권고한 바 있습니다.
* 고준위 방사성폐기물 관리정책을 수립하고, 실행과정까지 관리·감독할 수 있는 권한과 책임을 가진 행정위원회입니다.
- 장기적 시각에서 기술·사회적 측면의 다양한 이해관계를 종합적으로 고려하여 정책을 결정·집행할 수 있는 정책결정체계가 필요하다고 권고하였습니다.

68 방사성폐기물 관리법이 있는데 특별법이 필요한가요?

고준위 방사성폐기물 관리에 관한 내용을 세부적으로 규율하기 위해 별도 특별법 제정이 필요합니다.

특별법에는 부지선정 절차와 방법, 추진기구, 유치지역 지원 등 사업 전반에 관한 내용이 담길 것으로 예상됩니다.

- 현행 「방사성폐기물 관리법」은 방폐물 관리에 관한 일반적 사항을 다루고 있어 본 법률에 규정되어 있지 않은 고준위 방사성폐기물 관리시설 부지선정 절차, 유치지역 지원 등 특별하고 시급한 사항을 규정할 특별법이 필요합니다.
- 특히, 특별법은 고준위 방사성폐기물 관리가 일관적이고 연속적으로 이루어지도록 도울 것입니다.
- 2022년 9월 초안이 공개된 한국형 녹색분류체계도 원전 신규건설, 계속운전 등을 녹색경제활동으로 포함하면서 안전한 저장과 처분에 대한 계획과 함께, 이를 담보할 수 있는 법률 제정을 인정조건으로 제시하고 있습니다.
- 지난 2차례 일반국민을 대상으로 진행한 공론화 결과에서 모두 특별법 제정을 권고하는 등 그 필요성에 대해서는 광범위한 공감대가 형성되어 있습니다.



더 알아볼까요?

한국형 녹색분류체계

- 2021년 제시된 한국형 녹색분류체계(K-Taxonomy)는 6대 환경목표에 기여하는 녹색경제활동에 대한 원칙과 기준을 제시하여, 어떠한 경제활동이 녹색경제활동인지를 분류한 것입니다.

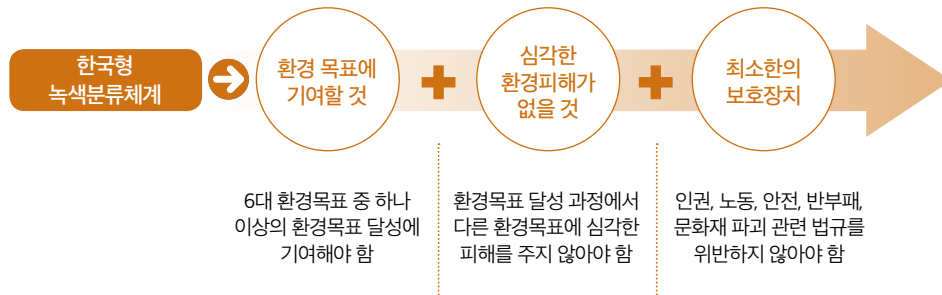
* (6대 환경목표) ① 온실가스 감축, ② 기후변화 적응, ③ 물의 지속가능한 보전, ④ 자원순환, ⑤ 오염방지 및 관리, ⑥ 생물다양성 보전

- 과잉·허위 정보와 같은 녹색위장행위(그린워싱)로 인한 피해를 예방하고 민간과 공공의 자금이 녹색경제활동으로 유입될 수 있도록 금융지원을 하기 위해 개발되었습니다.

- 유럽 등의 글로벌 정책, 기술개발 동향, 국내 여건 등을 고려하여 원전을 한국형 녹색분류체계에 포함하였습니다.

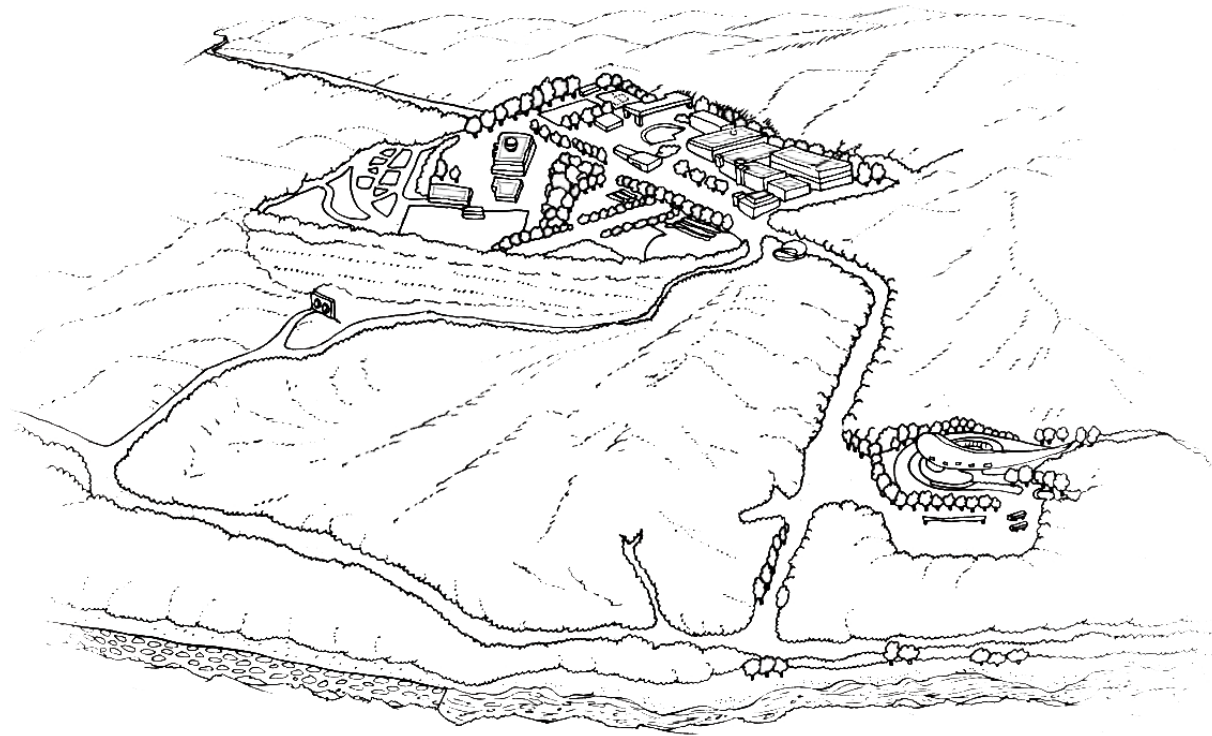
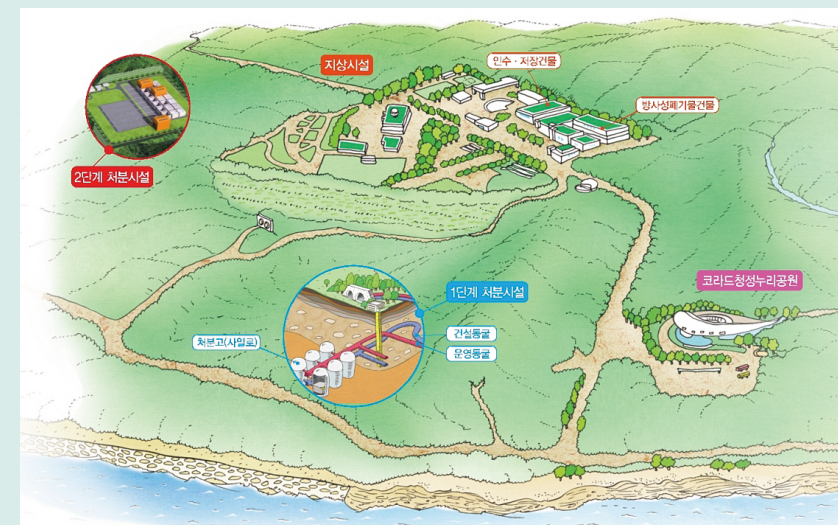
* 최근 유럽연합(EU)은 고준위 방사성폐기물 처분시설 운영 계획 수립 등을 조건으로 원전을 EU택소노미에 포함

한국형 녹색분류체계 원칙



컬러링북

중·저준위 방사성폐기물 처분시설 조감도



69 고준위 방사성폐기물 처분시설 설치는 원전비중 확대 때문인가요?

아닙니다. 고준위 방사성폐기물 처분시설 확보는 원전정책과 별개이며, 반드시 해결해야 할 우리 세대의 책무입니다.

- 과거 발생한 고준위 방사성폐기물은 물론, 현재 가동 중인 원전에서도 고준위 방사성폐기물이 계속 발생하고 있습니다.
 - 이미 발생한 고준위 방사성폐기물의 안전한 관리를 위해 원전비중과 무관하게 고준위 방사성폐기물 관리시설 확보는 반드시 필요합니다.
- 고준위 방사성폐기물 관리시설 확보는 원자력발전의 혜택을 누린 현세대가 져야 할 의무이자 책임입니다.

70 경주 방폐장 선정 시 정부가 한 약속을 안 지켰다는데요?

그렇지 않습니다. 정부가 약속한 사업은 2021년 말 현재 64%가 집행되었습니다. 한국수력원자력(주) 본사이전, 특별지원금 지원, 양성자 가속기 설치 등은 100% 완료되었습니다.

- 경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 부지선정 시 정부는 3조 4천억원 규모의 55개 지원사업, 3,000억원의 특별지원금, 한국수력원자력(주) 본사이전 등을 약속하였습니다.
- 2021년 말 현재 55개 지원사업 중 34개 사업이 완료되었고, 2조 1,905억원 정도가 집행되어 64%의 진척률을 보이고 있습니다.
 - * 미집행 지원사업은 신라황룡사지 복원 사업('06~'35년), 신라궁성 월성유적 복원 사업('06~'34년)과 같이 대부분 장기 추진 사업입니다.
- 한국수력원자력(주) 본사이전은 2016년 3월에 완료되었고, 특별지원금 3,000억원과 양성자 가속기 설치 사업도 100% 집행하였습니다.
- 앞으로 남은 과제도 당초 약속한 대로 지역발전에 도움이 되도록 차질없이 진행해 나갈 것입니다.



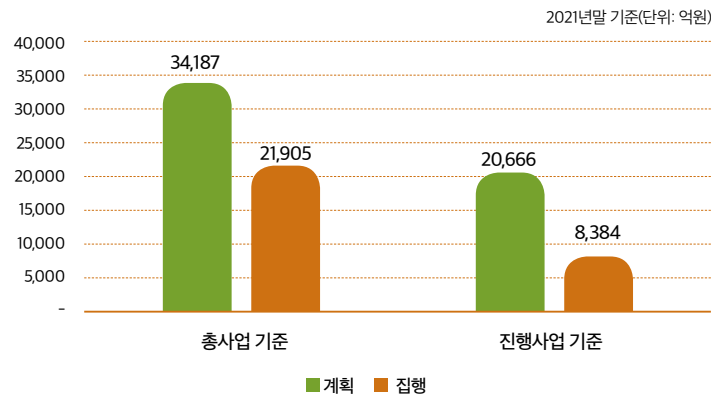
더 알아보까요?

유치지역지원사업

- 「중·저준위 방사성폐기물 처분시설 유치지역지원 특별법」에 따라 2007년 4월 일반지원사업(55개)와 특별지원사업(4개) 확정 추진

(일반지원사업) 총사업비 3조 4,187억원 중 2조 1,905억원(64%) 지원

- 총 55개 사업 중 34개 사업 완료되었으며, 1조 3,521억원 지원 완료
- 총 55개 사업 중 21개 사업이 진행중이며, 8,384억원 지원(계획 대비 41%)



(특별지원사업) 특별지원금 3,000억원 등 3개 사업 지원 완료

• (일반지원사업)

- 완료사업 : 34개 사업에 국비 7,349억원, 지방비 1,171억원, 기타 5,001억원 등 총 1조 3,521억원 지원 완료
- 진행사업 : 21개 진행사업에 국비 7,389억원, 지방비 894억원, 기타 100억원 등 총 8,384억원 지원

- (특별지원사업) 지원수수료는 약 190억원(2010~2021년, 총 약 29,800드럼)을 지원 하였으며, 한국수력원자력(주) 본사이전은 2016년 3월 완료

71 월성원전의 건식저장시설은 중·저준위 특별법상 관련 시설이 아닌가요?

아닙니다. 중·저준위특별법상 설치가 금지된 '사용후핵연료 관련 시설'은 중간저장시설과 영구처분시설을 의미하는 것으로 원전 부지내 저장시설은 해당되지 않습니다.

- 중·저준위특별법에서는 중·저준위 방사성폐기물 처분시설을 유치한 지역에 사용후핵연료 '관련 시설'을 설치하지 못하도록 규정하고 있습니다.
- 이 규정은 중간저장시설 또는 영구처분시설이 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 유치지역에 들어올 수 있다는 지역주민의 우려를 불식·해소시키기 위해 명시되었습니다.
- 중·저준위특별법 제정 당시 월성원전 부지내에는 이미 건식저장시설이 운영되고 있었으며, 원전 부지내 저장시설은 원자로의 안전을 목적으로 설치한 시설로 중·저준위특별법에서 금지하고 있는 '관련 시설'이 아닙니다.
 - 2016년 11월 법제처에서도 사용후핵연료 관련 시설은 중간저장·영구처분시설을 의미한다고 유권 해석한 바 있습니다.
- 즉, 월성원전의 건식저장시설은 원자력안전법상 원전운영을 위한 관계시설*에 해당합니다.
 - * 원자로의 안전에 관계되는 시설로, 원자로냉각계통 시설, 핵연료물질의 취급시설, 원전 부지내 방사성폐기물 저장시설 등

72 고준위 방사성폐기물 운반용기도 아직 없다는데요?

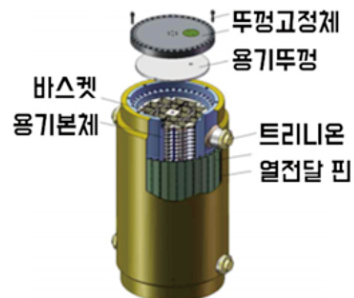
그렇지 않습니다. 우리나라뿐 아니라 프랑스, 미국 등 해외 여러국가에서 운반용기를 개발하여 사용하고 있습니다.

- 우리나라의 경우, 경수로형은 자체 개발용기*를, 중수로형은 해외개발용기를 이미 현장에서 활용하고 있습니다.

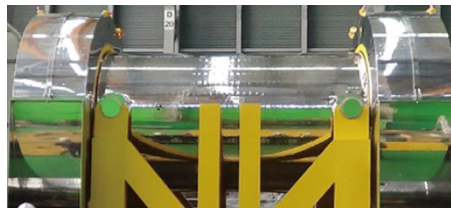
* 1990년 4다발용, 2002년 12다발용, 2016년 18다발용

- 방사성폐기물 관리사업자인 한국원자력환경공단도 운반용기를 개발하였으며, 규제기관의 안전성 검토·심사를 거쳐 2022년 인허가를 취득하였습니다.
- 프랑스, 미국, 독일, 캐나다 등 해외 여러 나라도 다양한 운반용기를 개발하여 현재 활용하고 있습니다.

KN-18 운반용기 개념도



KN-18 운반용기 실물 (Actual KN-18 Transport Container)



73 플루토늄은 조금만 먹어도 죽는다는데 위험하지 않나요?

그렇지 않습니다. 플루토늄은 섭취하여도 인체에 거의 흡수되지 않고, 일반인이 접촉할 가능성도 없습니다.

- 일반인이 플루토늄에 노출될 때는 산화플루토늄(PuO_2)의 형태가 되는데 이를 섭취하게 되면 99.999%가 흡수되지 않고 몸 밖으로 배출이 됩니다.
- 플루토늄은 사용후핵연료에 1% 정도 포함되어 있으나 재처리가 금지된 우리나라는 플루토늄을 뽑아낼 수 없습니다.
 - 또한, 플루토늄은 핵무기의 재료가 되기 때문에 매우 민감한 물질로 국제적으로 엄격하게 관리하고 있습니다.
- 따라서, 일반인이 플루토늄에 노출될 가능성은 전혀 없습니다.

74 특별법은 원전 부지내 저장시설 설치를 위한 법이라던데요?

그렇지 않습니다. 특별법에 원전 부지내 저장시설 규정이 포함된 것은 원전 부지내 저장시설이 일방적으로 설치되는 것을 방지하기 위함입니다.

- 특별법이 없는 상황에서도 현행 「원자력안전법」에 따라 원전 부지내 저장시설을 설치할 수 있습니다.
 - 다만, 월성원전의 경우, 법적요건이 아님에도 공론화라는 의견수렴절차를 거쳐 저장시설 설치를 결정한 바 있습니다.
- 특별법안은 원전 부지내 저장시설 설치와 관련하여 주민 의견수렴과 지역지원에 대한 의무를 법적으로 명확히 부여하기 위한 것입니다.
- 따라서, 특별법이 원전 부지내 저장시설 설치를 위한 것이라는 지적은 사실과 다릅니다.

75 금전적 혜택으로 지역주민의 마음을 사고자 하는 것은 아닌지?

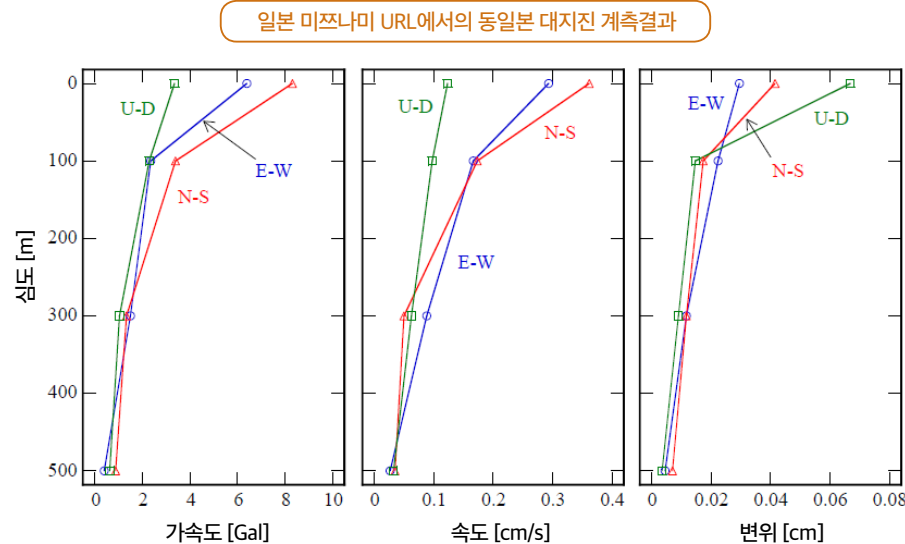
사실과 다릅니다. 특별한 부담을 감당하는 고준위 방사성폐기물 관리시설 유치지역에 그 부담에 상응하는 지역지원 프로그램은 당연히 필요합니다.

- 고준위 방사성폐기물은 저렴한 전기를 공급하는 원자력발전에서 나오는 것이고, 온 국민과 국내 산업계는 원자력발전의 혜택을 누리고 있습니다.
- 반면, 고준위 방사성폐기물 관리시설은 특정지역에 설치되기 때문에 해당 지역에 부담이 될 수 밖에 없습니다.
- 프랑스는 후보지역인 Meuse와 Haute-Marne에 공익사업공동체(GIP)를설치하고, 각각 연간 최대 3천만 유로(약 400억원) 예산을 지원하고 있으며, 스웨덴은 처분사업자가 2025년까지 20억 크로나(약 3천억원)의 보상금을 부지선정 참여지역에 배정하였습니다.

76 아무리 깊은 땅속이라도 지진에는 못 견딜 것 같은데요?

그렇지 않습니다. 땅속으로 들어갈수록 지진의 영향이 적어져 지하 500m에는 지진의 영향이 거의 나타나지 않습니다.

- 지하 500m 깊이에 있는 암반에서는 지진에 의한 진동 에너지가 방출되지 않아, 지진에 의한 충격도 받지 않게 됩니다.
- 지난 2011년 동일본 대지진 발생 당시 지하 300m에서의 지진영향이 지표면 대비 3분의 1 이하로 감소했다는 계측결과도 이를 뒷받침합니다.
- 또한, 다른 국가들의 연구에서도 지하 심부로 내려갈수록 지진에 대한 안전성은 오히려 향상되는 것으로 알려져 있습니다.



* 출처 : 일본원자력기구(JAEA), 2013

** U-D, N-S, E-W : 지진계측성분 U-D(상하성분), N-S(남북성분), E-W(동서성분)

77 땅속에 고준위 방사성폐기물을 묻으면, 지하수 때문에 위험한 것 아닌가요?

그렇지 않습니다. 땅속 깊은 곳에 묻고 난 후, 설령 수만년이 지나 방사성물질이 새어나와도 지하수에 녹아 이동하기 어렵습니다.

- 땅속으로 들어갈수록 암반이 더 견고해지고, 지하수도 거의 흐르지 않으며, 핵종이 지하수에 녹기 어렵기 때문에 10만년간 100m도 채 이동할 수 없습니다.
- 설령 물이 있다 하더라도 금속재료의 두꺼운 용기와 콘크리트와 같은 여러 겹의 차단장치가 있기 때문에 고준위 방사성폐기물이 물과 접촉할 수 없습니다.
- 국제원자력기구(IAEA)에서도 지하 500m 이상의 깊은 곳에 처분하는 것을 권고하고 있습니다.

*「IAEA General Safety Guide No-1(2009)」 : 고준위 방사성폐기물은 지하 수백m (통상 500~1,000m) 깊이에 지층처분 하도록 권고

78 우리나라에는 지질학적 안정성을 갖춘 부지가 없다던데요?

아닙니다. 우리나라에는 영구처분을 할 수 있는 화강암 암반이 널리 분포하고 있어, 조사를 통해 적합 부지를 찾을 수 있습니다.

- 영구처분을 위한 부지는 지진·단층·지열 등의 지질학적 특성이 안정된 지역이어야 하고, 처분장 건설에 충분한 공간이 동일 암반으로 이루어져야 합니다.
- 우리나라에는 화강암 암반이 널리 분포하는데, 화강암은 영구처분이 가능한 암반 중 하나입니다. 핀란드와 스웨덴도 화강암반 분포지역에 처분시설을 건설하고 있습니다.
- 다만, 프랑스와 스위스는 점토층에 처분시설 건설을 준비하는 등, 반드시 화강암을 처분암반으로 설정하여야 하는 것은 아닙니다.
- 특별법 제정 이후 면밀한 지질조사를 토대로 영구처분에 적합한 지역을 찾아 나갈 계획입니다.

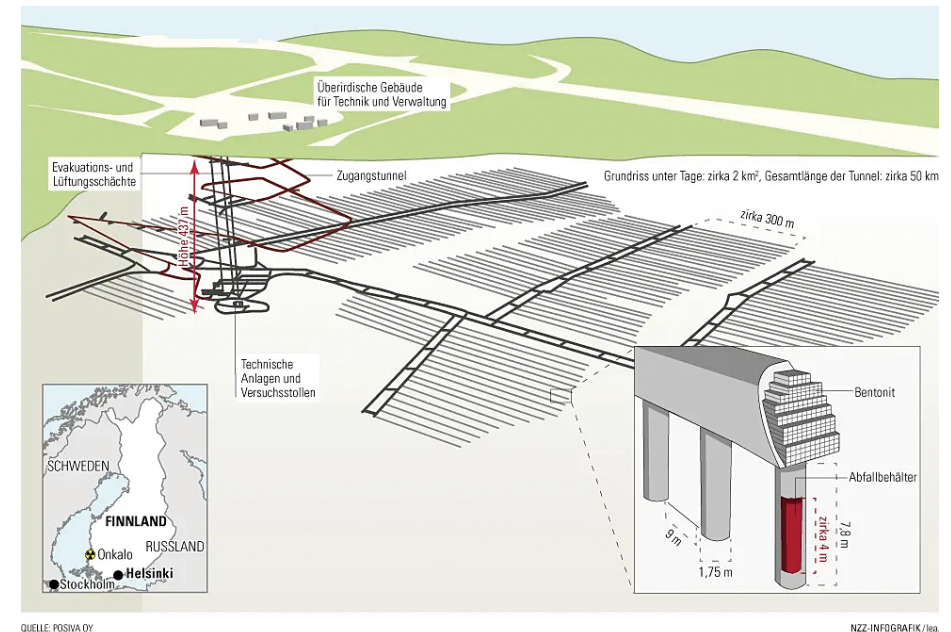
79 가장 앞서있다는 핀란드 처분시설은 안전성 검증이 완료되었나요?

처분시설 건설을 위한 안전성 검증을 완료하였습니다.

핀란드의 규제기관은 3년간 안전성을 확인한 후 2015년 11월 처분시설 건설을 허가하였습니다.

- 핀란드의 고준위 방사성폐기물 관리 전담기관인 POSIVA는 2004년부터 지하연구시설을 운영하여 필요기술을 확보하고, 2012년 처분시설에 대한 건설허가를 규제기관인 방사능원자력안전청(STUK)에 신청했습니다.
- 방사능원자력안전청은 3년간 처분 안전성을 검토하고, 2015년 11월 처분시설 건설을 허가하였습니다.
- 이후 POSIVA는 2016년 12월부터 처분시설 건설에 착수하여 2021년 12월 처분시설 운영허가를 신청하였으며, 2023년 시운전을 거쳐 2025년부터 처분시설을 운영할 계획입니다.

핀란드 고준위 방사성폐기물 처분장 개념도



80 경수로형은 저장기술이 없다던데요?

습식저장기술은 이미 확보되어 있으며, 건식저장기술은 해외에서 상용화된 기술입니다.

- 경수로형 건식저장기술은 1970년대에 개발된 이후 안전성이 충분히 검증돼 전 세계적으로 널리 사용 중입니다.
 - 건식저장시설을 건설·운영하는 원전운영국 24개국 중 20개국이 경수로형 고준위 방사성폐기물 건식저장시설을 활용하고 있습니다.
- 우리나라도 국내 업체의 운반·저장 용기 기술을 바탕으로 해외 선도기술을 접목하면, 원전 부지내 건식저장시설을 설치하는데 있어 기술적 문제가 없습니다.
- 중간저장시설의 경우에는 R&D 투자확대, 국제 공동연구 등을 통해 건설운영허가를 신청하게 될 2030년 후반까지 필요 기술들을 차질 없이 확보해 나갈 예정입니다.

독일 Gorleben 중간저장시설



- 시설명 : Gorleben TBL-G
 - 운영기간 : 1995년 ~
 - 저장용량 : 3,800톤(420개 용기)
 - 현 저장량 : 경수로형 고준위 방사성폐기물 저장용기 113개(2018년 기준)
 - 운영기한 : 40년
 - 방사선량률 : 0.18mSv/년(시설 출입통제 울타리 기준)
- ※ 일반인 기준 연간 방사선량 한도 : 1mSv

MEMO

편집후기

이 책은 업무 담당자들이 일선에서 많이 들었던 질문을 중심으로 작성하였으며, 고준위 방사성폐기물에 대해 전혀 모르는 분들을 위한 기초적인 내용도 담았습니다. 그리고 3부에서는 고준위 방사성폐기물에 대한 궁금한 질문과 답변을 따로 모아 구성하였습니다.

감수위원

김소영 한국과학기술원 과학기술정책대학원 교수

김지희 한국원자력연구원 선임연구원

목진휴 국민대학교 행정학과 명예교수

정범진 경희대학교 원자력공학과 교수

정용훈 한국과학기술원 원자력및양자공학과 교수

사용후핵연료, 필수적이고 귀중한 정보집

I S B N 979-11-980501-0-6(03550)

저 자  산업통상자원부  한국원자력환경공단

발 행 일 2022년 10월 31일

가 격 비매품

디 자 인 한국애드