

# 방사성 폐기물의 안전 관리

한 태 수

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원장

## 서 언

1970년대부터 본격적으로 추진된 우리 나라의 원자력 발전은 그동안 괄목할만한 성장을 이룩하여 현재 16기의 원자력발전소가 가동되면서 우리 나라 총발전량의 약 40%를 담당하고 있다. 또한 국내 방사성 동위원소 이용 기관만 해도 1,600여 개에 이르고 있다.

이처럼 국내 원자력산업이 확대되면서 방사성 폐기물의 안전 관리 및 최종 처분 문제는 국가적 현안으로 대두되어 왔다. 정부 차원의 방사성 폐기물 종합 관리 대책이 논의되기 시작한 것은 지난 1980년대 초반부터였으나 부지 확보의 어려움으로 많은 우여곡절을 겪은 끝에 1998년 9월 제249차 원자력위원회에서 현재의 국가 방사성 폐기물 관리 대책이 마련되었다.

이 글에서는 먼저 방사성 폐기물에 대한 일반적인 내용을 살펴본

후, 우리 나라의 방사성 폐기물 관리 현황과 대책, 부지 확보 추진 현황, 그리고 방사성 폐기물 처분 안전성 확보 방안과 향후 추진 계획 등에 대해 논하고자 한다.

## 방사성 폐기물 관리 현황

**1. 방사성 폐기물의 정의 및 분류**  
방사성 폐기물이란 방사성 핵종의 농도가 규정치 이상 함유 또는 오염되어 있는 물질로서 폐기의 대상이 되는 것을 말한다. 규정치 농도는 국제원자력기구(IAEA) 등 국제 기관의 권고 사항을 기준으로 하여 각국의 규제 당국이 규정하고 있다.

방사성 폐기물은 방사능 농도에 따라서 저준위·중준위·고준위 폐기물로 분류하며, 분류 기준이 되는 방사능 농도는 국가마다 상이하다. IAEA에서 제시한 방사성 폐기물의 분류 기준은 <표 1>과 같다.

우리 나라는 알파선 방출 핵종(반

감기 20년 이상)의 농도가 4,000Bq/g 이상이면서 열 발생률이 2kW/m<sup>3</sup> 이상인 것을 고준위 폐기물로, 그 이하는 중준위와 저준위 구분 없이 중·저준위 폐기물로 분류하고 있다.

## 2. 중·저준위 폐기물 관리 현황

원전의 운영 및 유지 보수 중에 발생하는 방호복·비닐 시트 등의 잡고체 폐기물, 기체 및 액체 폐기물 처리에 사용했던 폐수지, 폐필터 및 폐액 증발기에서 나오는 농축 폐액 등과 같은 중·저준위 폐기물은 적절한 처리 과정을 거쳐 원전 부지 내의 저장고에서 관리되고 있다.

국내 원전에서 발생된 중·저준위 폐기물의 총누적량은 2000년 말 기준으로 약 57,000드럼이다. 부지 내 저장고의 총저장 용량은 약 10만 드럼이나, 울진 원전의 경우 2008년도에 저장고가 포화될 전망이다. 이어서 영구 처분 시설의 건설이 시급한 실정이다. 원전 부지별 저장

〈표 1〉 IAEA의 방사성 폐기물 분류

분류	특 성	비고
고준위 폐기물(HLW)	• 붕괴열 2kW/m <sup>3</sup> 이상이면서 단수명 중·저준위 폐기물의 제한치 이상	• 지층 처분
중·저준위 폐기물(LILW) ① 장수명 폐기물(LILW-LL) ② 단수명 폐기물(LILW-SL)	• 면제 폐기물 기준 이상이고 붕괴열이 2kW/m <sup>3</sup> 미만 • 장수명 핵종 농도가 단수명 폐기물의 규정 농도 이상 • 장수명 α 방출 핵종을 기준으로 관련 핵종 농도가 개별 포장물이 4,000Bq/g 이하이고 전체 포장을 평균이 400Bq/g 이하	• 지층 처분 • 천층 또는 지층 처분
면제 폐기물(EW)	연간 피폭 선량이 0.01mSv 이하	비규제

\* 자료 : IAEA Safety series No. 111-G-1.1

〈표 2〉 원전 부지별 중·저준위 폐기물 저장 현황(2000년 말 기준)

단위 : 200리터 드럼

원전 부지	저장 용량	저장량	예상 포화 연도
고리	50,200	30,559	2014
월성	9,000	4,586	2009
영광	23,300	11,355	2011
울진	17,400	10,591	2008
계	99,900	57,091	

〈표 3〉 원전 부지별 사용후 연료 저장 현황(2000년 말 기준)

단위 : 톤·우라늄

원전 부지	저장 용량	저장량	예상 포화 연도
고리	1,737	1,154	2008
월성	4,807	2,311	2006
영광	1,696	769	2008
울진	1,563	524	2007
계	9,803	4,758	

현황은 〈표 2〉와 같다.

방사성 동위원소를 이용하는 기관이 증가하면서 동위원소 폐기물 발생량도 계속적으로 증가하고 있다. 폐기물의 발생 형태는 동위원소 이용 방법에 따라 개봉 선원과 밀봉

선원에 의한 폐기물로 구분된다.

병원·연구소 및 대학에서 질병의 진단과 치료, 그리고 각종 연구 목적으로 사용되는 개봉된 방사성 동위원소는 종이·플라스틱·유리·금속류 등에 묻어 다양한 형태의 폐기물을 발생시킨다.

그리고 병원이나 산업체에서 치료나 비파괴 검사 등에 사용하고 난 후 폐기되는 밀봉된 방사성 동위원소도 방사성 폐기물로 간주된다.

전국의 1,600여개 방사성 동위원소 이용 기관에서 발생하는 동위원소 폐기물은 원자력환경기술원의 저장 시설에서 관리되고 있는데, 2000년 말 현재 약 4,600드럼(200리터 기준)이 보관되어 있다.

저장 시설의 용량은 개봉 선원 8,800드럼, 밀봉 선원 3,500드럼이며, 연간 약 400드럼의 인수량을 고려해 볼 때 저장시설의 포화 시점은 2010년경으로 예상되고 있다.

### 3. 사용후 연료 관리 현황

원전에서 발생하는 사용후 연료는 원전의 연료로 재활용할 수 있는 핵분열성 물질과 재활용 가치가 없는 고준위 핵분열 생성물을 함께 포함하고 있어 에너지 자원인 동시에 고준위 방사성 폐기물로 분류되기도 하는 특징을 지니고 있다.

미국·캐나다 등은 사용후 연료를 재활용하지 않고 직접 처분하는 정책을 갖고 있고, 영국·프랑스·일본 등은 재활용하고 있다.

우리 나라는 재활용 또는 직접 처분에 대한 국가 정책이 결정되지 않은 상태이며, 정책 결정시까지 중간 저장을 원칙으로 하고 있다.

국내 원전에서 발생하는 사용후 연료는 현재 원전 부지 내 저장 시설에서 관리되고 있는데, 일부 원전은 저장 용량이 부족하여 저장 용량을 확장하거나 저장 용량에 여유가 있는 원전으로 이송하여 저장하고 있다. 원전 부지별 저장 현황은 〈표 3〉과 같다. 현재 저장 용량 확장 노력을 계속하고 있는데, 용량이 확장되면 2016년까지는 원전 부지 내 저장이 가능할 것으로 보고 있다.

#### 방사성 폐기물 관리 대책 및 부지 확보 현황

##### 1. 방사성 폐기물 관리 대책 (1998.9 AEC 의결 사항)

가. 부지 확보

관리 시설 부지는 처분 시설이 2008년까지 준공되도록 적기에 확보하도록 하며 중·저준위 폐기물 처분 시설, 사용후 연료 중간 저장 시설 및 관련 연구 시설 등 종합 관리 시설을 수용하고 입지 여건 및 처분 방식에 따라 부지 규모를 결정하도록 한다. 부지를 확보하기 위한 추진 전략은 다음과 같다.

- 지자체를 대상으로 유치 공보를 추진하거나 사업자가 후보 부지를 선정하여 지자체와 협의하는 방안을 검토

- 부지 선정 계획, 후보 부지 발표, 부지 조사 결과, 시설 계획 등을 공개하여 투명성을 확보

- 부지 예비 조사, 공청회, 부지 협약 등 안전성 확보 및 주민 의견 수렴을 위한 절차를 충실히 이행하도록 한다.

관리 시설 입지 지역에 대해서는 지역 개발 청사진을 지자체에 제시하고, 관련 법률에 의한 지역 지원 사업을 중심으로 추진하되, 주민 고용 등 사업자가 시행할 수 있는 간접 지원 방안도 병행하고, 「발전소 주변지역 지원에 관한 법률」에 의하여 주민의 실질 소득에 기여할 수 있는 지역 지원 사업을 중점적으로 시행한다.

#### 나. 방사성 폐기물 관리 시설 건설

중·저준위 폐기물 처분 시설은 2008년 준공을 목표로 하며 처분 방식은 부지 확보와 병행하여 부지

여건에 따라 천층 처분 또는 동굴 처분 방식을 선택하도록 한다.

처분 시설의 규모는 1단계 10만 드럼 규모로 건설하며 총 80만 드럼의 규모까지 단계적으로 증설한다.

사용후연료 중간 저장 시설은 2016년 준공을 목표로 하며 사용후 연료 처리·처분 정책의 결정 시기 및 방향을 고려하여 2008년까지 건설을 착수한다.

저장 방식은 부지 여건, 기술 개발 상황 등 제반 사정을 감안하여 건설 착수시까지 습식 또는 건식 저장 방식을 결정하고, 규모는 1단계 2,000톤 규모로 건설하되, 총 20,000톤 규모까지 단계적으로 증설한다.

#### 다. 기술 개발

방사성 폐기물의 안전 관리를 위한 관리 기술의 개발 목표는 방사성 폐기물의 안전하고 경제적인 관리를 위한 기술을 확보하며 방사성 폐기물 관리 기술의 적기 확보로 원자력발전 기술의 완전한 자립을 달성하는 데 있다. 개발 분야는 다음과 같다.

- 방사성 폐기물 발생량 저감화 기술 개발

- 중·저준위 폐기물 처분 및 안전성 평가 관련 기술 개발

- 사용후 연료 관리에 대한 기준 저장·수송 기술의 개선, 고도화 및 국내에 적합한 새로운 개념의 저장 기술 개발 등이다.

관리 기술의 개발은 방사성 폐기물 관리 사업자의 기술 개발 역량을 중심으로 중장기 계획을 수립 추진하고, 국내 자원의 효율적 활용을 위해 산·학·연 공동연구를 강화하며, 원자력 선진국과의 국제 공동 연구 등 국제 협력 확대를 추진하도록 한다.

## 2. 부지 확보 현황

### 가. 추진 경위

방사성 폐기물 관리 시설 건설을 위한 부지 확보 노력은 1986년부터 수 차례에 걸쳐 행해졌으나 지역 주민과 환경 단체의 반대로 모두 실패로 끝났다.

1986년에 전국을 대상으로 자료 검토와 현황 조사를 실시하여 후보지로 선정된 동해안 3개 지역(영덕·영일·울진)을 대상으로 1988년 말부터 지질 조사를 하던 중 1989년 초 주민 소요가 발생하여 사업 추진이 중단되었다.

1990년에는 충남 안면도를 대상으로 추진하다 대규모 주민 소요가 발생되자 사업 추진이 중단되었다.

부지 확보 노력이 계속 수포로 돌아가자 1994년에 정부는 방사성폐기물관리사업추진위원회(위원장: 국무총리)를 구성하고 산하에 기획단을 설치하여 법정부적으로 사업을 추진하였다.

기획단은 지역 주민과 환경 단체들의 거센 반발에도 불구하고 1994

년 12월에 서해안의 굴업도를 최종 부지로 정식 지정 고시하였다.

그러나 이듬해 정밀 지질 탐사 과정에서 활성 단층이 발견됨으로써 굴업도에 대한 방사성 폐기물 관리 시설 지구 지정을 해제할 수밖에 없었다.

#### 나. 추진 현황 및 향후 계획

이후 1998년 9월에 수립한 방사성 폐기물 관리 대책에는 방사성 폐기물 관리 시설 건설에 필요한 부지는 유치 공모 또는 사업자 주도 방식으로 확보하도록 하되 2008년까지 처분 시설을 건설할 수 있도록 적기에 확보한다는 기본 방침이 마련되었다.

그러나 과거의 사례를 비추어 볼 때 지역 주민과 협의 없는 사업자 주도 방식의 입지 추진은 많은 어려움이 예상되고, 무엇보다 사업 추진의 투명성 제고와 지역 주민의 의사 존중을 위해서는 유치 공모 방식을 우선적으로 추진하는 것이 바람직하다는 판단하에 전국의 지방 자치 단체를 대상으로 부지 공모를 추진하였다.

유치 신청은 기초 지방 단체의 장이 지방 의회의 동의를 받아 신청하도록 했고, 공모 기간은 2000년 6월 28일부터 2001년 6월까지 12개월간으로 하였다.

이번의 유치 공모는 전국의 임해 지역 지자체를 대상으로 실시하였다. 이는 방사성 폐기물의 해상 운

반 등을 고려할 때 임해 지역에 위치한 부지가 필요하기 때문이다.

유치 공모 시행과 함께 신문과 방송 등 매스컴과 안내 책자를 통해 이를 널리 알리는 다양한 홍보 활동을 전개했고, 그 결과 많은 지역의 주민들이 홍보물과 사업 설명을 요청하는 등 유치 공모에 많은 관심과 호응을 보였다.

전국의 10여개 지역에서 폭 넓은 유치 활동이 일어났으며, 전남 영광·강진·진도·완도, 전북 고창, 충남 보령, 경북 울진 등 7개 지역의 주민들이 지자체나 의회에 처분장 유치 신청 청원이 있었다. 특히 전남 영광과 강진은 유권자의 과반수에 가까운 주민들이 유치 찬성 서명을 할 정도로 대단한 열의를 보였다.

‘방사성 폐기물’이라는 말만 나와도 주민 소요 사태가 일어나곤 했던 불과 수년 전과 비교해 볼 때 방사성 폐기물에 대한 주민들의 이해도와 호응도가 놀라우리만큼 높아진 것이다.

그러나 안타깝게도 주민들의 이러한 유치 청원에도 불구하고 지자체와 지자체 의회에서는 찬반 주민 간 갈등을 조기에 수습한다는 이유로 심도 있는 검토가 이루어지지 않은 채 서둘러 유치 반대 입장을 표명함으로써 주민들의 청원이 유치 신청으로까지는 이어지지 못했다.

이에 따라 이 사업을 추진하고 있는 산업자원부와 한국수력원자력

(주)는 사업의 중요성과 시급성을 감안하여 지금까지의 자발적인 유치 공모 방식에서 앞으로는 보다 적극적인 사업자 주도 방식으로 전환하여 추진할 계획이다.

공모 방식이 지자체의 자발적인 유치 신청에 기대하는 수동적인 방식이라면 사업자 주도 방식은 사업자인 한국수력원자력(주)가 그동안 유치 공모 과정에서 얻은 교훈과 처분장의 제반 입지 조건을 고려하여 적합한 후보 부지를 선정한 후 해당 지자체와 지역 주민들에게 제안하고 협의하는 보다 적극적인 입지 추진 방식이라 할 수 있다.

한국수력원자력(주)는 사업자 주도 방식으로 부지 확보를 추진하더라도 공개적이고 투명한 절차에 따라 지자체 및 지역 주민들과 충분한 협의를 거쳐 최종 부지를 선정할 계획이다.

### 방사성 폐기물 처분 안전성 확보 방안

#### 1. 처분 안전성

전세계적으로 30여 개의 국가에서는 1940년대 이후로 약 100여 개의 중·저준위 방사성 폐기물 처분장을 건설하여 운영해 왔고 이 중 일부는 처분이 끝나 관리 상태에 놓여 있다. 그리고 지금도 30여 개의 처분장 건설 사업이 세계 각국에서 추진되고 있다.

처분 사업이 추진될 때마다 처분의 안전성 문제가 대두되었고 환경단체나 지역 주민들의 방사성 폐기물 처분의 안전성에 대한 의혹은 날로 커져만 갔다.

따라서 전문가들은 처분의 안전성 확보에 더욱 더 많은 노력을 경주했고, 또한 개별적인 국가 차원을 떠나 범세계적으로 방사성 폐기물 처분장의 안전성 확보 대책이 마련되기에 이르렀다.

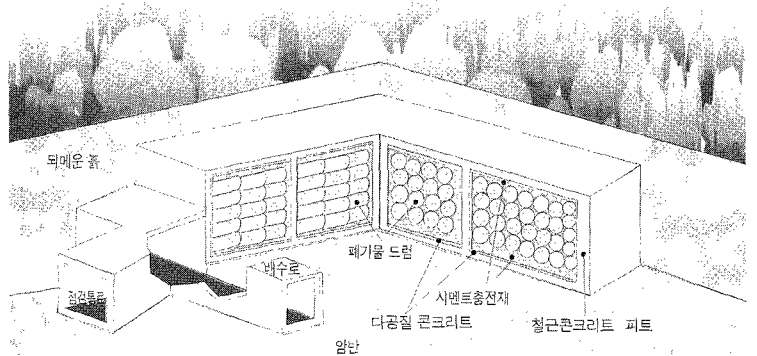
국제원자력기구는 이러한 안전성 확보 대책을 종합적으로 검토하여 방사성 폐기물의 관리 원칙을 수립하였다.

이 원칙에 따르면, 방사성 폐기물 관리는 후세대에 부당한 책무를 주지 않으면서 현재와 미래의 인류 건강과 자연 환경에 대한 보호를 할 수 있도록 하라는 것이다.

따라서 방사성 폐기물의 처분 시설은 다중의 방어 개념을 가진 인공 방벽 구조물과 토양이나 암반 등의 천연 방벽을 갖추도록 되어 있다.

그리고 독립적인 규제 기능을 보장하는 국가 종합 관리 체계하에서 폐기물의 발생·처리·처분·사후 관리의 각 관리 단계별로 안전성을 확보하도록 하고 있다.

따라서 처분 시설은 장기적인 안전성을 확보하기 위하여 원자력발전소와 유사한 다중 방벽 개념으로 설계 및 운영되며, 다음과 같은 특성을 지니고 있다.



〈그림 1〉 중·저준위 방사성 폐기물 천층 처분 방법

① 방사성 폐기물 : 폐기물을 고화 또는 견고한 용기로 포장하여 안전성 확보

② 인공 방벽 : 처분 구조물이나 되메움 물질을 이용하여 안전성 확보

③ 자연 방벽 : 방사성 핵종의 환경으로의 이동을 저지 또는 감소시키는 매질을 가진 지층을 이용한 안전성 확보

위의 다중 방벽 중 어느 한 부분이 무너지더라도 폐기물 속에 함유되어 있는 방사성 핵종의 이동은 다른 방벽에 의해 저지된다. 그리고 또 모든 인공 방벽이 무너진다고 해도 처분장의 지하 매질은 인공 방벽으로부터 누출된 방사성 핵종이 인간의 생활권까지 도달하는 데 수 백년 이상이 걸리도록 지연시키는 능력을 가졌기 때문에 그 사이에 방사능이 모두 붕괴되어 없어짐으로 결국 처분장이 환경에 미치는 방사선 영

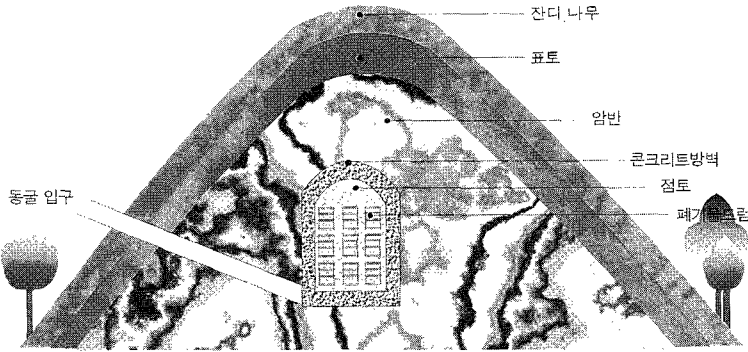
향은 전혀 없는 것이다.

## 2. 처분 시설과 안전성

국내의 중·저준위 방사성 폐기물 처분은 부지 여건에 따라서 공학적 천층 처분(Engineered near-surface disposal) 방식이나 동굴 처분(Mined cavity disposal) 방식으로 결정될 예정이다.

공학적 천층 처분장에 고화되거나 견고한 용기에 담긴 폐기물이 반입되면 엄밀한 검사를 거쳐 콘크리트 구조물인 처분고(Vault)에 자동화 설비에 의해 적치된다. 그리고 폐기물 용기 사이의 빈틈은 시멘트 모르타르로 채워진다.

폐기물이 가득 찬 처분고 상부는 강수에 의한 물 침투를 최소화하고 동식물의 침입 등을 방지하기 위해 인공 처분 덮개가 설치된다. 그리고 처분장은 폐쇄 절차를 거쳐 운영 관



(그림 2) 중·저준위 방사성 폐기물 동굴 처분 방법

리에 들어가게 된다.

처분 시설 폐쇄 후에는 최대 300년간의 제도적 관리 기간을 두어 처분 시설과 주변에 대한 환경 감시 및 부주의한 인간 침입을 방지하여 처분 시설의 안전성을 유지한다. 삼백년이 지나면 대부분의 방사성 핵종들이 붕괴되어 없어진다.

동굴 처분 방식은 지하 100~300 m의 지층 암반 내에 동굴을 굴착하여 폐기물을 처분하는 것을 말한다. 지층은 방사성 핵종이 인간 환경권으로 도달하는 것을 최대한 지연시키도록 투수성이 매우 낮고 방사성 핵종 흡착성이 양호한 암반을 선정한다.

위의 두 가지 형태의 중·저준위 방사성 폐기물 처분장의 안전성 평가는 여러 가지 방법으로 이루어진다.

처분장의 정상 운전애 따른 안전성과 가상 사고 발생시의 안전성을 평가하는 전산 프로그램이 개발되었다.

이 프로그램을 이용해서 우리 나

라에 설치될 처분장의 안전성을 평가해 보면, 어느 경우애나 일반인들에게 법적으로 허용된 방사선량의 몇 분의 일 또는 몇 십분의 일 밖에 안 되는 미미한 영향밖에 없어 처분장이 대단히 안전하다는 결론을 얻을 수 있다.

그리고 무엇보다 중요한 것은 유사한 설계로 건설된 외국의 방사성 폐기물 처분장 운영 결과를 보면, 방사선 영향이 거의 없는 것으로 실증되어 있어 중·저준위 방사성 폐기물 처분장에 관한 한 안전성이 확실히 보장되어 있다고 할 수 있다.

### 3. 처분 안전성 향상 기술 개발

방사성 폐기물 처분 안전성을 향상시키는 방법은 무엇보다도 폐기물의 양을 줄이고 또한 폐기물을 가장 견고한 형태로 만들어 폐기물 속에 있는 방사성 핵종들이 처분장을 이탈하여 주변 환경으로 이동하지 못하도록 하는 것이다. 일찍이 미국의 환경청에서는 고준위 방사성 폐

기물의 가장 이상적인 처리 방안은 이를 유리화하여 처분하는 것이라고 하였다.

중·저준위 방사성 폐기물도 유리화할 수 있으면 처분장의 안전성이 크게 향상된다. 한수원(주)의 원자력환경기술원에서는 일찍부터 중·저준위 방사성 폐기물의 유리화 기술 개발에 착수하였다.

폐기물의 유리화란 폐기물 속의 방사성 핵종만을 견고한 유리 조직에 가두어 두는 기술을 말한다.

방사성 핵종은 유리 구조의 일부가 되어 우리가 깨진다 하더라도 방사성 핵종만 유출되지 않는다. 유리화된 폐기물을 처분하면 설령 처분장이 깨져 물이 들어간다고 하더라도 방사성 핵종이 처분장에서 환경으로 유출되지 않는 것이다. 또한 중·저준위 방사성 폐기물을 유리화하면 폐기물의 부피가 20분의 1 이상 혁신적으로 감소된다.

중·저준위 방사성 폐기물 유리화 기술은 세계 최첨단 기술이다. 우리 나라는 1996년 6월부터 중·저준위 방사성 폐기물 유리화 실증 시설을 건설하여 유리화 기술 개발에 성공하였다.

앞으로 이 기술을 상용화하여 방사성 폐기물을 처리·처분한다면 우리나라가 방사성 폐기물을 세계에서 가장 안전하게 처분하는 국가가 될 것이다.

**결 언**

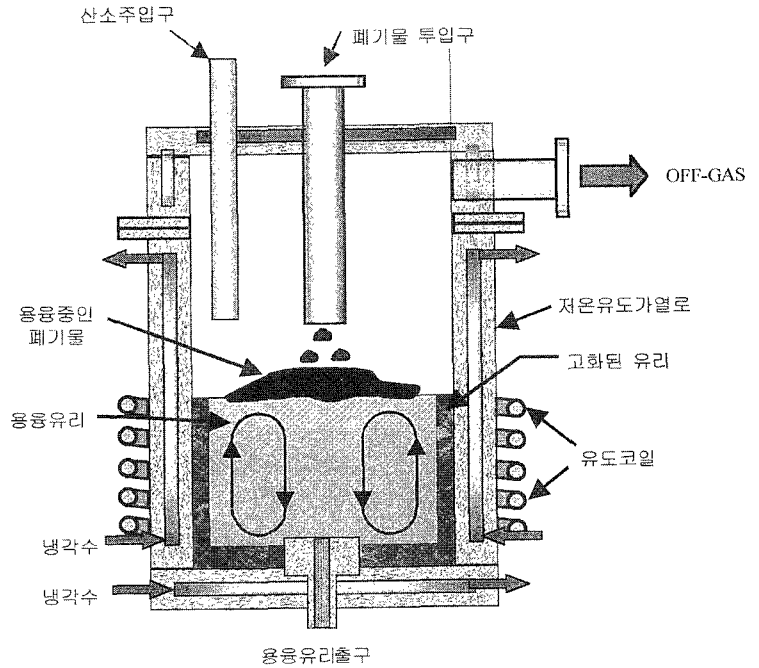
원자력 설비 규모상 세계 제6위를 차지하는 우리 나라는 아직도 원자력의 이용 과정에서 발생하는 방사성 폐기물 처분장을 확보하지 못한 채 10년 이상 부지 선정에 관한 찬반의 소모적인 논쟁만 계속 이어지고 있다.

방사성 폐기물 처분장은 전세계 30여 개 국가에서 100여개 가까이 운영되고 있는 안전성이 입증된 시설이다.

원자력발전소가 운영되고 있는 국가의 대부분은 물론 원자력발전소가 없는 국가들도 방사성 동위원소를 이용하는 병원이나 산업체에서 나오는 방사성 폐기물을 안전하게 관리하기 위해 영구 처분장을 운영하고 있다.

우리 나라는 세계 각국의 오랜 처분장 운영 경험과 관련 연구를 통해 입증된 기술을 적용하여 처분장을 설계·건설하려고 한다. 그리고 또 방사성 폐기물의 유리화라는 첨단 기술을 개발하여 세계에서 가장 안전한 방사성 폐기물 관리 체제를 구축하려 하고 있다. 우리 나라의 원자력 기술 수준을 고려할 때 이는 충분히 달성될 수 있을 것이라 확신한다.

자원 빈국인 우리 나라의 에너지 문제 해결에 결정적인 기여를 하고



〈그림 3〉 유도 가열식 유리화 용융로



방사성 폐기물의 유리 고화체

있는 원전의 운영 과정에서 발생되는 방사성 폐기물과 병원·산업체 등에서 발생되는 방사성 동위원소

폐기물을 안전하게 관리하기 위한 국가 사업에 국민 모두의 관심과 협조가 필요할 때이다. ☻