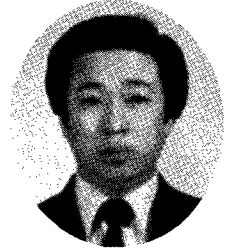




# 방사성폐기물관리의 실상



박헌휘  
한국원자력연구소 부장

## 방사성폐기물관리 기술개요

### 1. 방사성폐기물 관리원칙

방사성폐기물이라함은 방사성물질 또는 그에 의하여 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질을 말하며 우리나라의 원자력법상으로는 사용후핵연료를 포함한다.

방사성폐기물은 우라늄을 채광하여 핵연료를 만들고 이를 원자로에 넣어 발전하는 과정에서 발생하는데 이는 주로 저준위폐기물로 분류된다. 저준위폐기물은 또한 병원, 산업체 및 연구소 등에서 동위원소를 이용할 때도 발생한다.

원자력발전에 쓰이고 나온 사용후핵연료를 재사용하지 않고 폐기하거나 재사용을 위한 처리(재처리)시에는 고준위폐기물이 발생하게 되지만 우리나라의 경우 이러한 방안 중 택일하는 정책이 확정되어 있지 않으므로 고준위폐기물에 대한 문제보다는 임시적인 사용후핵연료 관리문제가 선결과제이다.

방사성폐기물관리란 이러한 폐기물들이 주변 환경 및 인체에 영향을 주지 않도록 하는 제반 활동을 말하는 것으로서 재활용, 회석분산, 자연붕괴, 처리처분과 같은 기본원리에 따르게 된다.

이상의 원리들 중에서 현실적인 관심의 대상은 처리·처분이다. 이것은 방사성폐기물의 부피를 가능한 줄여서 안정한 형태로 만들어(처리), 이것을 인간생활권으로부터 영구격리시키는 것(처분)을 말한다.

### 2. 방사성폐기물 처리기술

방사성폐기물을 처리하는 목적은 환경에 대한 방사능의 영향을 가능한 줄이는 것이라할 수 있다. 처리기술의 기본은 폐기물의 부피축소와 안정화로 방사성물질을 분리하여 농도가 극히 희박하게 된 것은 회석·방출하고, 농축된 것은 효율적인 관리를 위하여 고화한다. 실제 처리방법은 방사성폐기물의 방사성준위, 물리적·화학적 상태 및 방사성핵종의 종류에 따라서 적절한 방법으로 수행한다.

기체폐기물의 처리는 HEPA필터를 사용한 여과법과 활성탄을 사용한 흡착분리, 감쇠법 등을 널리 사용하고 있다.

액체폐기물의 처리는 이온교환법, 증발법, 응집침전법 등이 주로 사용되고 있다. 새로운 연구개발기술로 역삼투법, 여과탈염법, 원심분리법 등을 개발하고 있다. 이때 발생하는 잔유물은 수송과 처분에 적합하도록 고화시킨다.

고화처리는 폐기물을 안정한 형태로 만들어 처분시 물과 접촉하는 경우에도 방사성핵종의 누출을 적게 하며 취급, 수송, 임시저장 및 최종 처분에 이르기까지 기계적, 물리적, 화학적 및 방사학적으로 안정한 형태로 만들기 위함이다.

고화방법은 사용되는 고화매질에 따라 여러 가지로 구분된다. 그 중 현재 국내원자력발전소에는 시멘트를 이용한 시멘트고화방법을 사용하고 있다. 아스팔트고화방법은 1962년 벨기에에서 pilot 규모로 방사성폐기물을 고화한 이후 주로 유럽국가에서 널리 이용되고 있는 방법으로서 국내의 경우 원자력연구소내에 위치한 방사성폐기물처리시설에서 이 공정이 이용되고 있다. 폴리머고화방법은 불포화성수지를 이용한 고화방법으로 현재 연구개발중에 있으며 제조된 폐기물의 안정성은 매우 양호하나 경제성이 다소 떨어진다는 단점을 가진다.

고체폐기물은 가연성과 불연성으로 분류하여 가연성폐기물은 주로 소각로를 이용하여 처리하며, 불연성폐기물은 1,000톤 이상 압력의 초고압압축기를 사용하여 처리한다. 그러나 국내의 경우 고체폐기물은 현재 소용량의 재래식압축기를 사용하여 처리하고 있는 실정이며, 소각과 초고압압축에 대한 실증연구 및 도입방안 등이 구체적으로 논의되고 있다.

### 3. 방사성폐기물 처분기술

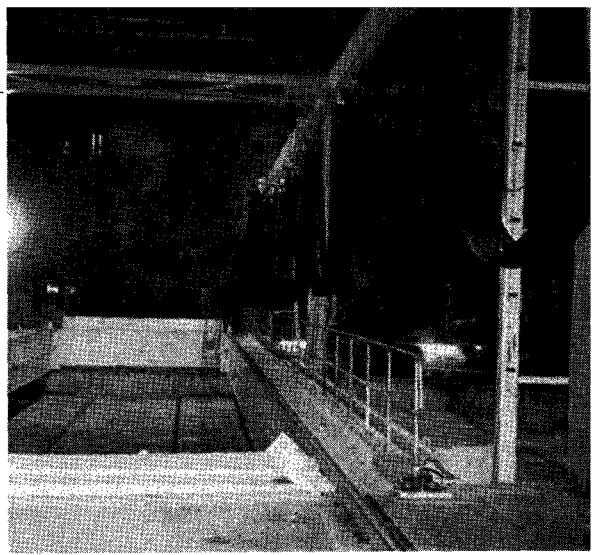
처리된 방사성폐기물은 인간환경으로부터 장기간 격리하여 일반대중 및 환경에 대한 방사선장해를 막기 위해 처분하게 된다.

처분은 다음과 같은 기본개념하에 이루어진다.

(1) 방사성폐기물의 방사선적 위험도는 중·저준위폐기물의 경우 약 300년정도 지속되므로 이 기간동안은 방사성핵종의 이동이 최대한 억제되어야 한다.

(2) 방사성핵종의 이동억제는 다중방벽개념에 입각해 폐기물의 고화, 포장, 처분시설, 부지, 환경 등의 순으로 보장하게 된다.

(3) 방사성폐기물관리를 경제적으로 수행하기 위해 위의 억제수단들 중 목표로 하는 안전



성이 보장되는 범위에서 가감할 수도 있다.

처분방식은 크게 육지처분과 해양처분으로 나눌 수 있다. 해양처분은 바닷물의 막대한 분산 및 희석능력을 이용하는 것으로 저준위폐기물을 처분할 경우 이로 인한 방사능증가량을 무시할 수 있다는데 근거하고 있다. 그러나 1972년 해양투기규제에 관한 런던조약이 조인되어 잠정적으로 해양처분이 금지되고 있다.

육지처분은 해양처분에 비해 고려해야 할 항목들이 많다. 처분부지선정시 부지의 수력학적 성질, 생태계, 토지의 이용, 인문사회적 여건 등을 평가하여 방사성폐기물을 유해기간동안 인간환경으로부터 격리해야 한다. 육지처분은 지중매몰, 동굴처분, 지하심층처분 등으로 세분된다. 지중매몰은 지하 15~20m 이내에 폐기물을 묻는 방식으로 요즈음은 안전성을 높이기 위해 콘크리트방벽, 점토층 등을 보강한 개량 Trench식이 사용되고 있으며 동굴처분은 천연동굴이나 폐광 또는 인위적으로 동굴을 굴착하여 폐기물을 처분하는 방식으로서 산지가 많거나 인구밀도가 높은 나라에서 채택되고 있다. 또한 지하심층처분은 지하 500~600m에 위치한 결정암이나 암염층 등에 폐기물저장소를 건설하는 방식으로 고준위폐기물이나 사용후핵연료를 대상으로 한 것이다.

### 4. 사용후핵연료 관리기술

핵연료는 원자로내에서 3년 정도 핵반응을 일으키면서 열을 발생하고 발전소는 이 열을 이용하여 터빈을 돌려 전기를 생산하고 있다.



3년간 사용하고 난 후 핵연료는 새로운 연료로 교체되며 이렇게 교체되어 나온 연료를 「사용후핵연료」라 한다.

사용후핵연료는 발전소내 임시저장소에 일단 저장하였다가 중앙집중식 중간저장소에 저장하게 된다. 이후 이 사용후핵연료를 폐기물로 간주하여 직접처분하거나 재사용을 위해 다시 회수하여 재처리한 다음 회수된 핵연료는 다시 발전에 이용하고 재처리과정에서 발생하는 고준위폐기물은 유리나 합성암(Synrock)으로 고화하여 지하심층처분한다.

사용후핵연료의 저장방식으로는 습식과 건식이 있다. 습식저장은 앞에서 언급한 바와 같이 물속에 사용후핵연료를 저장하여 중성자를 차폐시키는 방법이다. 건식에는 Silo형태의 Concrete cask에 저장하는 방법, 금속cask에 저장 방법, Drywell에 저장하는 방법 등이 개발되어 있다.

## 방사성폐기물의 발생 및 관리현황

### 1. 저준위폐기물

원자력발전소 운영시 발생하는 저준위방사성 폐기물은 앞서 언급한 처리공정을 거쳐 처분에 적합한 안정화된 형태로 각 원자력발전소 부지별로 임시저장중에 있다.

연간발생량은 발전로형, 도입년도, 운영기간 및 각 처리시스템의 사양에 따라 많은 차이가 있다. 즉 고리 1호기의 경우(용량 587 MWe)

70년대에 운영되기 시작한 가압경수로형으로 연간 약 1,000드럼의 저준위폐기물이 발생되고 있으며 1983년 7월부터 운영이 시작된 고리 2호기의 경우(650MWe) 고리 1호기와 동일한 발전로형이며 발전용량이 큰 것임에도 불구하고 연간 약 550드럼의 저준위폐기물이 평균적으로 발생되고 있는 실정이다.

1990년 1년간 발생한 저준위폐기물량을 살펴보면 4기의 가압경수로형 원자력발전소가 운영 중인 고리 부지의 경우 총 2,491드럼이 발생되었으며, 2기의 원자력발전소가 운영중에 있는 영광 및 울진 부지의 경우에는 각각 1,296드럼 및 924드럼의 저준위폐기물이 발생되었다. 또한 국내에서 유일하게 운영중에 있는 가압중수로형 원자력발전소인 월성 1호기의 경우에는 폐기물발생량이 가압경수로형보다 매우 적으며 90년 1년동안 231드럼이 발생되어 보관중에 있다.

이들 발생한 폐기물들은 각 원자력발전소 부지별로 임시저장고를 건설, 보관중에 있으나 머지않아 그 용량의 포화가 예상되고 있다. 1978년 고리 1호기가 상용운전된 이후 1991년 2월까지 국내 원자력발전소에서 발생한 저준위 폐기물량과 현재 보관중인 임시저장용량 등을 <표 1>에 나타내었다.

### 2. 사용후핵연료

우리나라는 현재 사용후핵연료를 원자력발전소내 수영장 같은 저장조에 임시저장하고 있

〈표 1〉 국내 원자력발전소 발생 폐기물량

단위: 200리터 드럼기준

부 지	기 수	발전용량 (MWe)	'90년도 발생량	*발생 누적량	저장능력
고 리	4	3,137	2,491	23,844	32,906
월 성	1	679	231	1,355	9,000
영 광	2	2,000	1,296	3,336	13,330
울 진	2	1,900	924	1,953	5,000
계	9	9,616	4,942	30,488	60,236

\* '91년 2월 기준

〈표 2〉 원자력발전소 부지별 사용후핵연료 저장용량

부 지	호 기	저장용량		'90년말 저장량누계		포화에 상년도
		집합체	톤(MTU)	집합체	톤(MTU)	
고 리	1	562	225	361	144	1997
	2	920	376	276	113	
	3	746	316	220	99	
	4	746	316	200	89	
영 광	1	746	316	212	87	1997
	2	746	316	144	61	
울 진	1	472	200	52	24	1999
	2	893	378	44	20	
월 성	1	48,336	923	36,610	699	1991
계			3,366		1,336	

자료: 한국전력공사

다. 각 발전소별로 사용후핵연료 발생누적량 및 저장용량 등을 〈표 2〉에 실었다. 1989년까지 사용후핵연료 발생누적량은 1,140MTU에 다다르고 있으며 2005년까지 약 7,500MTU에 도달할 것으로 보여 저장용량의 포화가 예상된다.

## 방사성폐기물 종합관리의 추진현황 및 대책

### 1. 기본정책 및 관리체계

방사성폐기물처분과 관련하여 원자력위원회는 다음과 같이 4가지 방사성폐기물관리기본원칙을 정하였다.

(1) 중·저준위방사성폐기물은 육지처분을 원칙으로 한다(추후 해양처분도 고려할 수 있다).

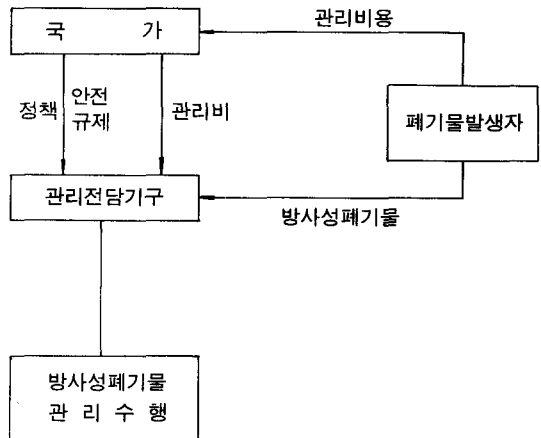
(2) 중·저준위방사성폐기물 영구처분장을 원전부지 외부에 집중적으로 건설한다.

(3) 방사성폐기물 종합관리를 위한 운영관리기구를 국가주도의 비영리기관으로 설치한다.

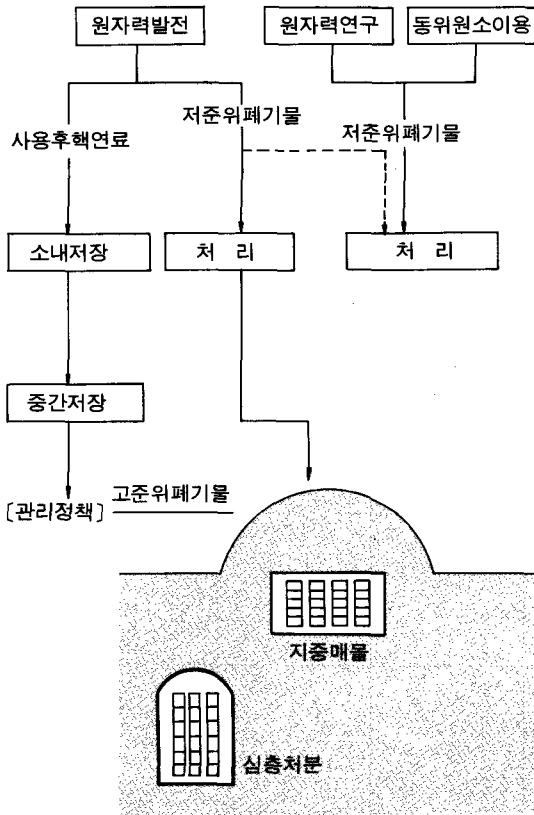
(4) 방사성폐기물관리에 소요되는 경비는 폐기물발생자가 부담한다.

이 원칙에 입각해 〈그림 1〉과 같은 관리체제를 구성하였다. 운영관리기관으로는 한국원자력발전소 부설 원자력환경관리센터가 과학기술처의 위임을 받아 방사성폐기물의 관리사업 및 연구개발업무를 수행하고 있다. 한편 원자력안전기술원은 안전성검토 및 평가, 안전감시, 기술기준개발 등의 업무를 담당하고 있다. 폐기물발생자로서 발전용원자로운영자는 원자로운전으로 생산되는 전력량에 따른 일정요금을 내고, 기타 폐기물발생자는 인도한 폐기물의 종류 및 수량에 따라 부담한다.

이와 같은 체제하에 수행될 관리계통은 〈그림 2〉에 제시한 바와 같다. 원자력발전과 동위원소이용 및 연구활동으로 발생하는 저준위폐기물은 각 발생기관에서 처리 또는 위탁처리하여 지중매몰방식으로 처분하게 된다. 한편 원자력발전에서 발생하는 사용후핵연료는 각 발전소내에 임시저장되어 있으며 향후 중앙집중식저장을 거쳐 정책결정에 따라 사용후핵연료 자체 또는 재처리시 발생하는 고준위폐기물의 형태로 지하심층에 처분하게 된다.



〈그림 1〉 방사성폐기물 관리체계



〈그림 2〉 방사성폐기물 관리계통

## 2. 저준위폐기물관리

방사성폐기물처분에 선결되는 것은 처분부지의 확보이다. 그러나 지금까지 2차에 걸친 부지확보시도가 조사단계 및 구상단계에서 주민의 반대로 중단되었으며 지금까지의 경험을 토대로 새로운 방향을 모색중이다.

부지를 확보하기 위한 기본방침으로는 공개적으로는 부지확보사업을 추진하되 국민적 합의하에서 추진하며, 국민의 공감대를 형성하기 위한 국민이해증진에 역점을 두고 가능한 모든 방안을 강구하는 것으로 정하였다.

저준위방사성폐기물 영구처분장과 사용후핵연료 중간저장시설을 건설할 부지를 선정하기 위한 추진방향은 전국의 임해지역을 중심으로 원자력법 등 기술기준에 적합한 다수의 대상지역을 도출하여 각종 지역혜택사업(공공시설투

자, 소득증대사업, 학자금지원 및 지방업체육성 등 주변지역지원의 제도화)을 제시하여 해당지역에서 자발적으로 참여하도록 유도할 계획이다.

하지만 원하는 지역이 없을 경우 국가에너지정책상 불가피한 사업임을 국민에게 인식시킨 후 다각적인 사전조사(여론조사, 공개토론회, 전문가검토 및 각계의견 최대수렴)를 거쳐 해당 지방자치단체, 지방의회 및 지역주민들과 합의하에 적정후보부지를 도출하는 방안도 검토될 것이다.

한편, '96년초부터 처분을 시작하기 위한 처분장건설에 대비하여 계통최적화연구를 수행함으로써 동굴처분방식을 중심으로 시설의 배치개념과 기능분석 및 다중방벽요건을 설정하였고, 지하구조물을 분석하여 폐기물관리시스템을 확정하였다. 폐기물처분시설의 규모는 총 100만드럼으로 초기에는 25만드럼(10년간 운영분) 규모로 건설하고 추후 10년 간격으로 점차 증설해 나갈 계획이다.

방사성폐기물관리에 필요한 총비용을 절감하기 위해서는 처분량을 줄이는 것이 매우 중요하다. 이를 위하여 폐기물발생량을 최대한 억제하고 그후 발생된 폐기물에 대해서는 효과적인 감응이 필요하며 아울러 방사능규제 면제치, 극저준위·저준위·중준위폐기물 등의 구분기준을 정하여 규제면제치 이하인 폐기물은 산업폐기물의 처리방식을 적용함으로써 처분비용을 절감하여 경제적인 영구처분장을 건설·운영하게 될 것이다.

영구처분장의 시설설계 및 건설을 위하여 고화체안전성 관련연구, 처분부지의 지질과 수문 및 핵종이동특성연구, 처분시설구조의 안전성 해석에 대한 기술 등을 개발하고, 특히 일반대중의 안전성확보를 위하여 처분안정성평가기술에 역점을 둘 것이다. 영구처분장의 시설운영을 위하여 고화체인수 및 품질보증/품질관리(QA/QC)기술과, 핵종이동억제재료 등을 개발하며 한편 환경보전을 위한 환경감시를 계속 수행할 계획이다.

또한 영구처분시설을 운영할 1990년대 후반

부터는 처분시설의 감시와 증설 그리고 폐쇄에 대비하여 고화체의 장기건전성규명을 위한 방사성핵종침출메카니즘, 환경영향을 평가하기 위한 실증규모의 지질, 수문특성시험, 처분시설폐쇄기술, 처분시스템 전체를 코드화하여 안전성을 평가하기 위한 기술을 개발할 예정이다. 장기적으로는 외국의 추세로 보아 해양처분도 고려하며 2000년 이후에는 이에 관련된 기술도 개발할 필요성이 있을 것으로 보고 있다.

### 3. 사용후핵연료관리

사용후핵연료의 관리방향은 재처리실시 여부에 따라 크게 달라지므로 핵연료주기관리방향과 연계하여 검토하여야 한다.

그러나 재처리여부결정 이전에도 사용후핵연료의 중간저장은 불가피하며 사용후핵연료나 고준위폐기물은 궁극적으로 처분이 필요하다. 우리나라는 원자력발전소내의 사용후핵연료 저장용량이 부족함에 따라 사용후핵연료를 안전하게 집중관리하기 위하여 1990년대 말까지 1000톤 규모의 중간저장시설을 건설할 계획이다.

사용후핵연료 중간저장시설은 국제적으로 기술이 확립되어 있고, 경수로 및 중수로형 핵연료를 같이 취급할 수 있는 습식저장방식으로 건설한다. 습식저장시설의 경우 저장규모에 관계없이 일정규모 이상의 수납설비와 저장조별로 기본설비를 갖추어야 하므로 대응량이 유리하다.

사용후핵연료의 수송은 중간저장시설의 운영 이전까지 발전소부지내 수송이 필요하고, 운영 이후부터는 발전소에서 중간저장시설로의 대량수송이 필요하다. 발전소부지내의 수송을 위해 경수로핵연료집합체 4개를 수송할 수 있는 수송용기(KSC-4)를 이미 개발하였고 수송콘테이너도 확보하여 소내수송을 실시하고 있다. 각 원자력발전소에서 중간저장시설로의 사용후핵연료수송을 위해서는 대형수송용기(경수로핵연료집합체 7개 들이)를 개발하고 이를 수송할 선박, 차량, 장비를 확보할 계획이다.



사용후핵연료를 대상으로 수송할 수 있는 방법은 철도와 해상만이 가능하나 기존 원전부지에 철도가 연결되어 있지 않고 수송로에 인구밀집지역이 많아 철도수송은 사실상 불가능하다. 국내 원전부지는 모두 바다에 인접하여 물량장이 설치되어 있으므로 선박수송이 바람직하다. 이를 위해 사용후핵연료 관련시설인근에 상하차시설, 물량장 등 부대시설을 설치할 계획이다.

### 향후전망

우리나라는 자원의 부재로 인해 급증하는 전력수요에 대응하기 위해 원자력발전이 계속 증가할 것으로 예상되며 이에 따른 방사성폐기물관리도 원활하게 이루어져야 할 것이다.

우선적으로 대두되고 있는 폐기물관리에서의 안전성확보에 대한 국민의 인식은 국내의 기술현황과 외국의 수행사례를 토대로 향후 점차적으로 향상될 것으로 전망된다. 따라서 현안과제인 부지확보도 지역주민의 호응하에 합리적으로 이루어질 것으로 보인다.

부지가 확보될 경우 지금까지 축적된 국내의 기술과 계속적으로 추진될 자주적인 기술개발을 통하여 세계적으로 모범적인 방사성폐기물관리를 하게 될 것으로 기대되며 더 나아가서는 원자력기술자립에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 전망된다.