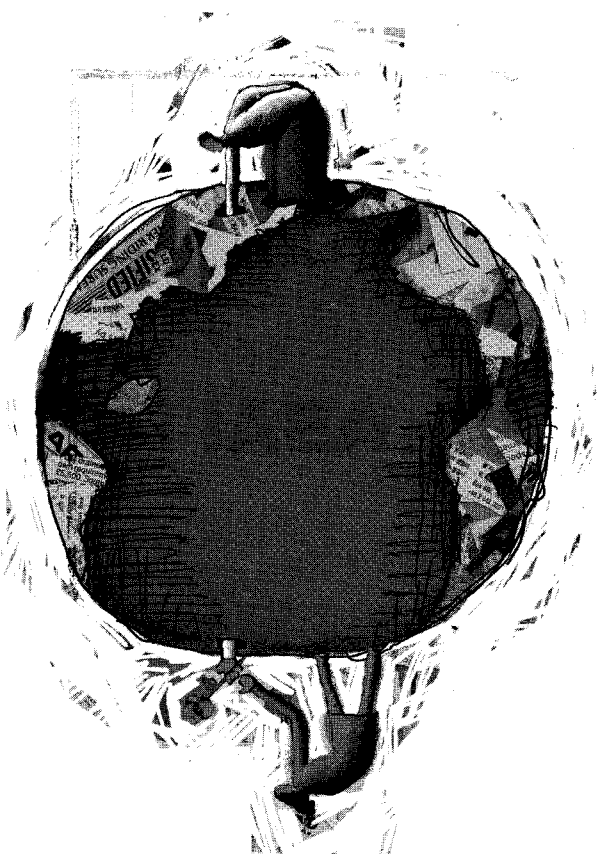


방사성폐기물 관리의 안전성 확보

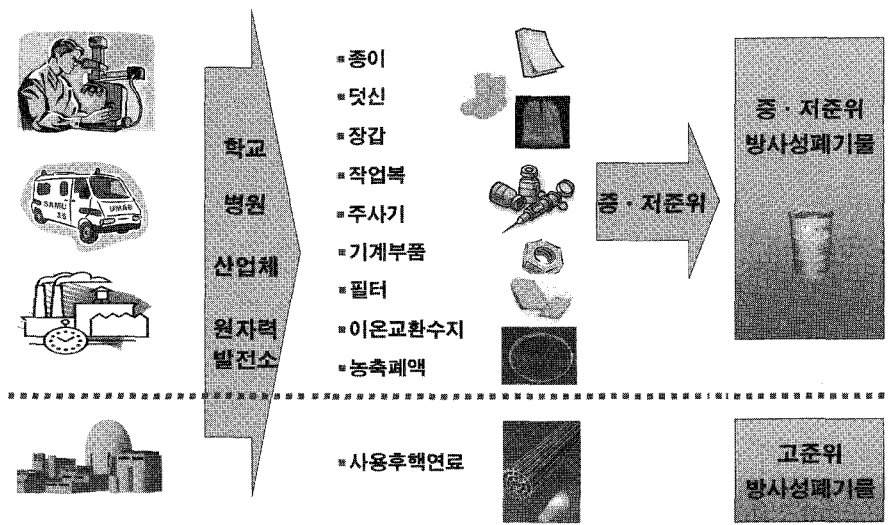
맹호진 | 한국수력원자력 사업전략처
김윤식 | 한국수력원자력 사업처



1. 방사성폐기물의 정의

방사성폐기물은 방사성물질 또는 그에 의하여 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질(사용후핵연료를 포함한다)을 말한다. 우리나라에서는 방사성폐기물을 그 방사능 농도와 열발생율을 기준으로 중·저준위와 고준위로 구분하고 있다. 중·저준위 방사

■ 방사성폐기물 생성 및 분류





성폐기물은 글자 그대로 방사능의 정도가 낮은 것을 말하며 원자력발전소의 운전원이나 보수요원이 사용했던 장갑, 덧신, 작업복, 걸레 그리고 각종 교체 부품 등과 방사성동위원소를 이용하는 산업체, 병원, 연구기관에서 나오는 동위원소 방사성폐기물이 포함된다. 고준위 방사성폐기물은 사용후연료를 재활용하기 위해 재처리할 때에 발생하는 높은 수준의 방사능을 갖는 방사성폐기물을 말한다.

2. 방사성폐기물 발생현황

우리나라의 중·저준위 방사성폐기물은 원자력발전소와 방사성동위원소 이용기관인 산업체, 병원, 대학 그리고 연구소 등에서 발생되며 이중 약 90%가 원자력발전소에 발생되고 나머지 약 10%는 동위원소 이용기관에서 발생되고 있으나, 동위원소 이용기관의 증가로 동위원소 폐기물의 양이 점차 증가하는 추세이다. 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물은 원전 부지내의 임시 저장시설에서 저장 관리되고 있으며 2004년 12월말 현재 누적 발생량은 약 64,213드럼(200리터 드럼기준)이다. 한편, 전국의 병원, 연구기관, 산업체 등 2,000여개 방사성동

중저준위 방사성폐기물 저장현황 ('04.12월말 현재)

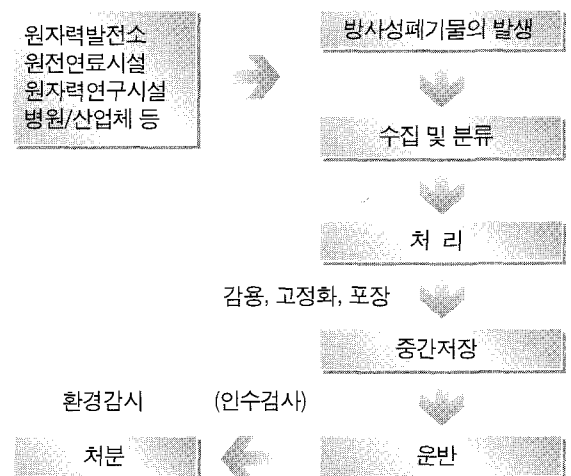
구분	장소	저장용량	현 저장량	예상포화년도
원전 폐기물	고리	50,200	33,036	2014년
	영광	23,300	13,043	2012년
	울진	17,400	13,445	2008년
	월성	9,000	4,689	2009년
소계		99,900	64,213	-
동위원소 폐기물 (병원, 산업체)		9,277	5,155	2012년

위원소 이용기관에서 발생하는 동위원소폐기물은 2004년 12월말 현재 약 5,155드럼(200리터 드럼 기준)이며, 대전에 있는 한국수력원자력(주) 원자력환경기술원 저장시설에서 저장, 관리 중에 있다.

3. 방사성폐기물 관리

방사성폐기물이 생성된 이후 작업자와 일반주민 및 환경에 대해 허용기준치 이상의 방사선 피폭과 환경오염을 초래하지 않도록 적절하게 취급하고 처분하는 것을 방사성폐기물관리라고 하며, 수집 및 분류, 처리, 운반, 처분의 단계로 구성된다.

방사성폐기물의 처리(Treatment)는 안전성 및 경제성을 제고시키기 위하여 방사성폐기물의 특성을 변화시키는 단계로서, 방사성폐기물의 양을 줄이는 감용, 방사성폐기물의 취급·운반·저장 및 처분에 적합하도록 고화시키는 고정화, 그리고 방사성폐기물을 철제 드럼이나 콘크리트 용기에 넣는 포장 작업으로 이루어진다. 최종 관리단계인 처분(Disposal)은 방사성폐기물을 인간과 자연생태계로



부터 영구히 격리시키는 과정을 말한다.

4. 방사성폐기물 처분시설 필요성

1970년대 말부터 본격화된 우리나라의 원자력산업은 지난 20여 년간 괄목할 만한 성장을 이룩하여 2004년 말 현재 19기의 원자력발전소가 가동 중으로 규모 면에서 세계 6위의 원자력발전 국가로 발돋움하였다.

2004년에는 국내 전력수요의 38.2%를 원자력 발전으로 충당하고 있으며, 방사선 및 방사성동위원소의 이용 면에서도 국가산업발전에 비례하여 원자력의 산업적 이용이 큰 폭으로 늘어나고 그 이용분야가 더욱 다양화, 고도화되는 추세에 있다. 이처럼 국내 원자력 산업이 확대되면서 방사성폐기물의 안전한 관리 및 최종 처분 문제는 국가적 현안으로 대두되고 있다.

우리나라 중·저준위 방사성폐기물의 원전부지내 저장시설이 포화되는 시점은 당초 90년대 말이었으나, 처분 부지확보가 계속 지연되어 불가피하게 원전 부지내 임시 저장시설을 추가 건설하였으며, 발전소 운영기술 향상과 초고압 압축 등 관리기술 개선으로 발생량을 저감시켜 현재와 같은 수준을 유지하고 있으나 원전 내 저장시설 추가 건설이나 기술 개발을 통한 저장 가능기간 연장은 임시방편일 뿐, 한계가 있으므로 가능한 조속하게 방사성폐기물 처분시설을 확보할 필요가 있다.

국제원자력기구(IAEA)에서 권고하는 “방사성폐기물관리 기본원칙”에 의하면 방사성폐기물 관리의 목적을 “방사성폐기물의 책임있는 관리를 통하여 후세대에게 부당한 부담을 주지 않고, 현재와 미래의 인류 건강과 자연환경을 보호하도록 하는 것”이라고

천명하고 있다. 이러한 기본원칙에 따라 미국, 일본 등 원자력선진국들은 이미 오래전부터 방사성폐기물 처분시설을 운영함으로써 원자력 이용의 수혜당사자인 현세대가 방사성폐기물의 안전관리를 책임지고 있다.

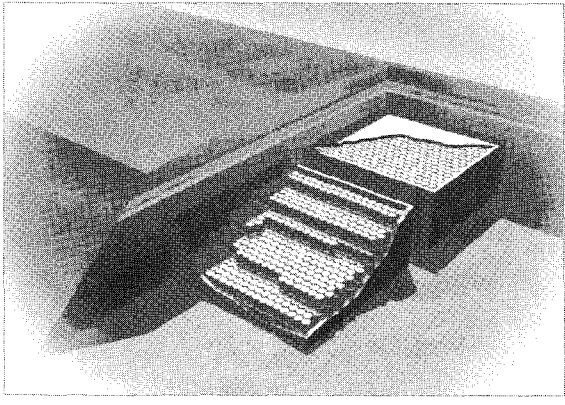
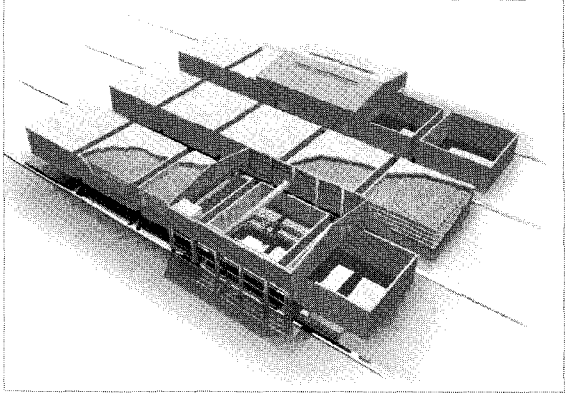
현재 세계 31개국에서 436기의 원자력발전소가 운영되고 있으며 이중 24개국에서 방사성폐기물 관리시설을 운영하고 있으나 우리나라는 세계 6위의 원자력 선진국임에도 불구하고 방사성폐기물 처분시설 부지를 확보하지 못한 불명예를 안고 있는 실정이다. 한편, 원전을 운영하지 않으면서도 방사성폐기물 처분시설을 운영중인 국가는 베트남을 포함하여 14개국이나 된다.

5. 중저준위 방사성폐기물 처분방법

처분시설을 지표면 가까이 설치하는 방식과 지하에 설치하는 방식에 따라 천층처분과 동굴처분으로 나눌 수 있다. 천층처분은 지표면 가까이에서 방사성폐기물을 처분하는 것으로, 이 경우 해당 처분시설은 지표면에 공학적 방법으로 설치되며 폐쇄 후에는 수 미터 이상의 천연 및 공학적 덮개에 의해 인간 생활권으로부터 격리된다. 동굴처분은 지표면으로부터 수십 미터 이하의 지하에 방사성폐기물을 처분하는 것으로, 이 경우 해당 처분시설은 처분에 적합한 동굴의 형태로 설치되며 폐쇄 시에는 진입 통로를 메움으로써 인간 생활권으로부터 격리되는 방식을 말한다.

가. 천층처분방식

천층처분은 지표에서 약 30m이내의 깊이에 천연



방벽 또는 인공방벽을 이용하여 방사성폐기물을 처분하는 방식으로서 안전성확보를 위해 인공방벽을 이용한 처분이 널리 이용된다.

이 방식은 지표부에 구조물(처분고)을 만들고 구조물내에 방사성폐기물을 처분하는 방식으로 표토층이 발달되고 배수가 잘되며 강우량이 적은 지역에서 유리한 방식이며 또한 천층처분방식은 인공방벽을 이용하여 방사성핵종의 누출을 저지하며, 동굴처분 방식에 비해 건설이 용이하다.

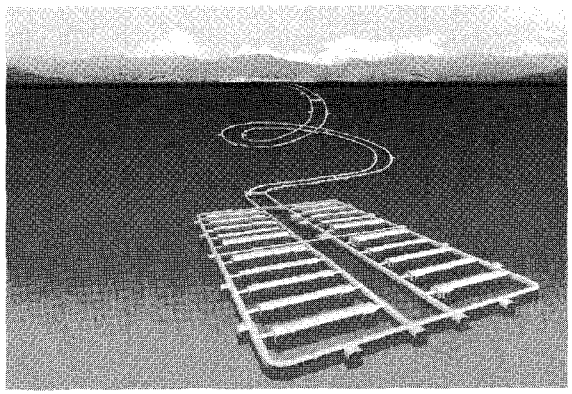
□ 안전성 확보

- 폐쇄단계에서 강우침투 및 동식물 침입방지용 처분덮개 설치
- 집수관 설치 및 감시(Zero Release)

- 최대 300년간 제도적 관리(환경감시/인간침입 방지)

나. 동굴처분방식

암반내 혹은 지하의 동굴에 천연방벽 또는 인공방벽을 이용하여 폐기물을 처분하는 방법으로 인위적으로 동굴을 굴착하여 안전성을 확보할 수 있으며 수리지질학적으로 폐기물의 장기보관에 대한 안전성을 확보하여야 하므로 균열, 파쇄대등 2차 공극이 발달되지 않고 투수성이 낮으며 균질한 특성을 갖는 큰 암체가 있는 지역에서 유리한 방식이다. 동굴의 규모, 배치 등 처분시설 형태는 부지조건에 따라 다양하다.



□ 안전성 확보

- 자연방벽을 이용하여 방사성폐기물을 인간생활권으로부터 완전 격리
- 지하 50~100 미터 암반 내 동굴 굴착 후 처분

6. 방사성폐기물 처분 안전성 확보

국제원자력기구(IAEA), 국제방사선방호위원회

(ICRP), 경제협력개발기구/원자력국(OECD/NEA) 등에서 제시하고 있는 방사성폐기물 처분의 기본원칙으로는 처분으로 인한 방사선적 영향을 경제적·사회적 요인들을 감안하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하도록 하며, 방사성폐기물 처분에 의한 개인의 방사선피폭은 설정된 제한치를 초과하지 않도록 해야 한다는 것이다. 또한 시간적, 기술적, 사회적 및 경제적 측면에서 방사성폐기물의 처분으로 야기되는 미래세대에의 부담을 최소화하기 위해 적기에 처분을 실시하고, 미래세대의 건강에 미치는 영향은 현재의 허용수준보다 크지 않도록 미래세대를 보호해야 한다고 규정하고 있다. 이러한 기본원칙의 준수를 위하여 우리나라뿐 아니라 각국에서 시도되고 있는 육지처분방법에서는 안전확보의 기본 방침으로 다중방벽(Multiple Barrier) 개념과 단계별 관리개념을 도입하고 있다. 즉 폐기물고화체, 포장용기, 충전재, 처분시설 구조물 등의 공학적인 인공방벽(Engineered Barrier)과 처분장 부지가 제공하는 자연방벽(Natural Barrier) 등 다중방벽의 기능을 이용하여 폐기물에 포함된 방사성핵종의 감금과 이동의 지연을 통해 일반 주민에 대한 방사선환경영향을 무시할 정도가 되도록 하고 있으며, 단계별 관리 개념으로서는 1) 규제 법령, 기준 및 지침의 제정을 포함한 처분 단계별 정부의 철저한 안전규제, 2) 적절한 처분시설의 건설, 운영 및 폐쇄후 제도적인 관리, 3) 건설에서 폐쇄후까지 지역주민과 환경단체 등이 참여하여 지속적인 환경감시를 위한 민간 환경감시기구의 운영, 및 4) 부지선정단계부터 건설, 운영, 폐쇄 및 폐쇄후 단계에서의

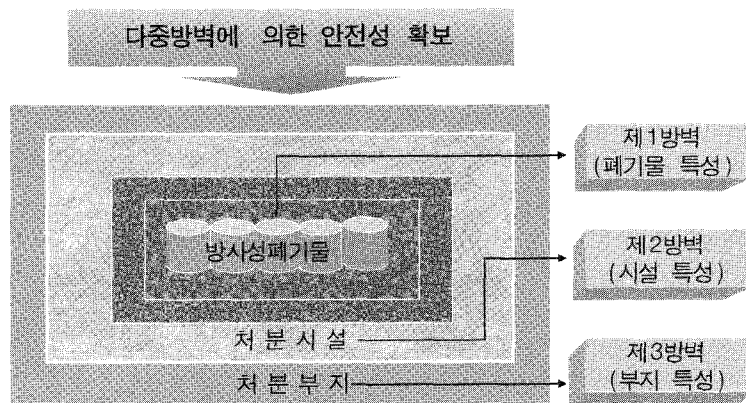
안전성평가 등에 의해 종합적으로 안전성을 확보하도록 하고 있다.

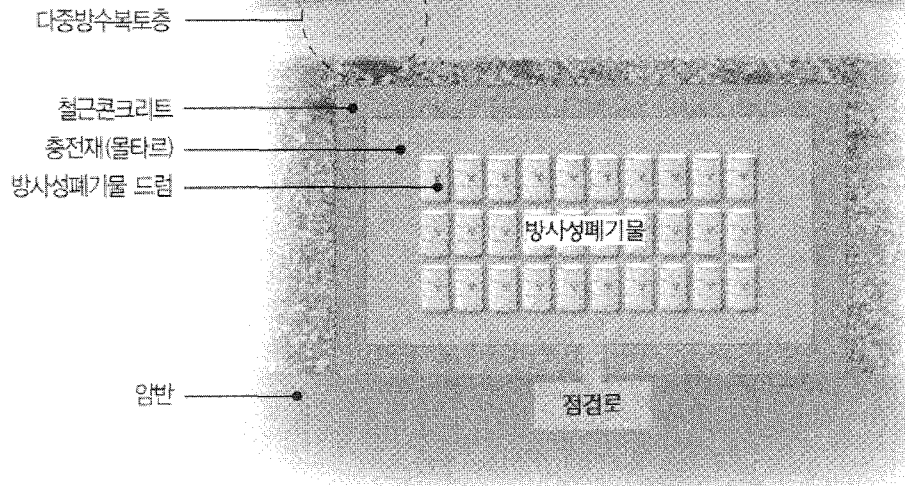
가. 다중방벽에 의한 안전성 확보

처분시설에는 방사성폐기물내에 포함되어 있는 방사성물질이 밖으로 새어 나오지 않도록 여러 겹의 차단방벽을 설치하며, 특히 지하수는 방사성물질의 주요 이동수단이 될 수 있으므로 방사성폐기물과 물의 접촉을 방지하는데 중점을 둔다. 이에 따라 처분시설은 장기적으로 안전성을 확보하기 위해 다음과 같은 다중방벽 개념을 적용한다. 즉,

- 제 1방벽 : 방사성폐기물 고화체와 포장용기(폐기물 포장물)
- 제 2방벽 : 처분구조물, 방사성폐기물 용기사이의 충전재, 되메움재, 최종처분덮개(인공방벽)
- 제 3방벽 : 부지 토양이나 암반(자연방벽)

이러한 각 방벽이 제공하는 안전성은 다음과 같다. 즉, 제 1방벽은 방사성폐기물 자체의 안전성으로서 처분시 인수기준에 적합한 지를 확인하게 되며, 폐기물 드럼당 처분되는 방사능 농도를 제한하고, 처분되는 총 방사능량을 제한함으로써 고유의





안전성(intrinsic safety)을 갖도록 하고 있다. 또한 처분되는 방사성폐기물은 고체 또는 고화되어야 하며, 압축강도, 유리수 제한 등 건전성 요건을 충족하도록 하고 있다. 제 2방벽은 콘크리트 구조물, 시멘트 모르타르, 다중방수 복토층 등 공학적 방벽에 의한 안전성으로서 인공적인 매질에 의해 수명은 유한하지만 추가적인 안전성을 갖도록 하고 있다. 제 3방벽은 처분시설을 인간 생활권으로부터 격리시키는 처분부지 지층내 지하암반이나 토양 등 자연적인 지질계를 말하며 지층매질에의 흡착, 여과 및 침전 등 상호작용을 통해 방사성물질의 이동 지연을 통해 장기적인 안전성을 제공하고 있다.

나. 단계적 관리에 의한 안전성 확보

1) 정부의 철저한 안전규제

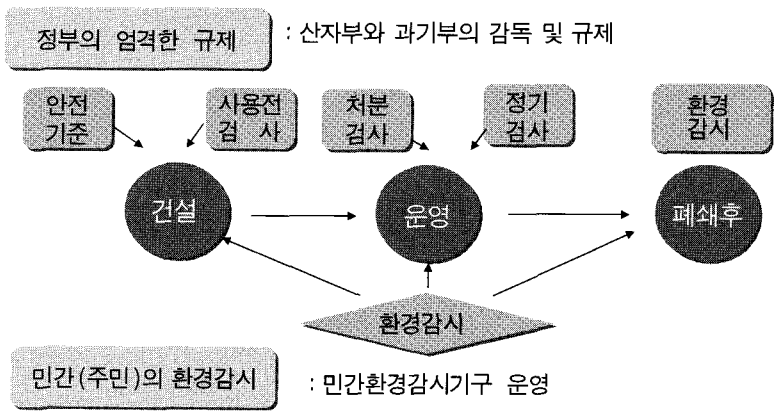
방사성폐기물 처분시설에 대한 안전성은 부지선

정단계부터 건설, 운영 및 처분시설 폐쇄 및 폐쇄후 관리까지 철저히 확보되어야 하며 이를 위해 원자력발전소 건설과 마찬가지로 철저한 안전 위주의 시공과 검사과정을 거치는 안전 개념에 의해 설계·건설되며 방사성폐기물 처분시설에 부과되는 제반 안전규정을 준수하고, 국내의 19개 원전의 운영 및 건설 경험 등이 종합적으로 반영될 것이다.

가) 국제 안전 기술기준

국제원자력기구(IAEA)는 1994년 9월 제38차 정기총회에서 원자력 발전으로부터 생성되는 방사성폐기물의 안전한 관리와 처분을 위해 “방사성폐기물 관리의 안전에 관한 국제협약”의 결의안 채택 후, 2001년 3월 현재 우리나라를 포함한 42개국이 “사용후연료 관리의 안전 및 방사성 폐기물 관리의 안전에 관한 공동협약(안)”에 서명하였고, 원전 운영국 17개국을 포함한 독일, 캐나다, 영국, 프랑스, 우

단계별 관리에 의한 안전성 확보



건설, 운영하기 위해서는 국내 관련 법령에서 요구하는 각종 인허가 서류를 제출, 엄격한 심사를 통해 안전성을 입증한 후 처분시설을 건설, 운영하며 시설 건설 및 운영중에도 법에 규정된 안전기준을 만족하고 있는지 철저히 검사하는 상시 검사체계를 운영하여 안전성을 확보한다. 방사성폐기물 처분시설 관련 주요 법령으로는

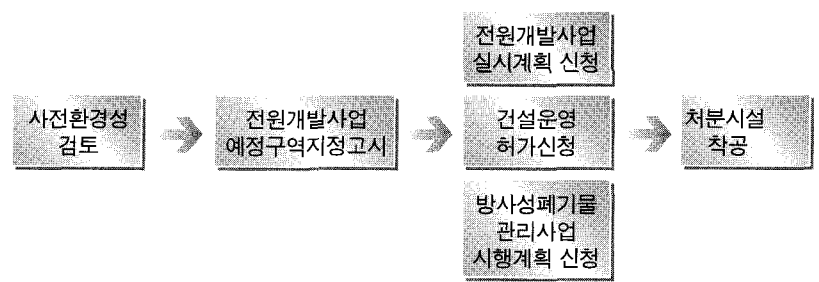
- 전원개발사업 예정구역 지정(전원개발촉진법)
- 전원개발에관한 실시계획 승인(전원개발촉진법)
- 방사성폐기물관리사업 시행계획 승인(전기사업법)
- 건설·운영허가(원자력법)
- 과학기술부 고시 등이 있다

크라이나 등 25개국이 비준 완료 하였다. 공동협약의 의무사항으로, 각국은 방사성폐기물 관리 전반에 걸쳐 방사선 위험로부터 일반대중, 사회 그리고 환경을 보호하기 위하여 국제원자력기구 방사성폐기물 안전원칙을 기초로 하여 법적·제도적 규정을 마련하고, 이의 이행을 통해 상기시설의 운영 및 폐쇄까지 필요한 안전성 확보조치를 하도록 하고 있다.

1991년부터 방사성폐기물에 관한 안전기준(RADWASS)을 제정해 오고 있으며, 현재 Safety Fundamentals 관련 기준 1개, Safety Requirements 관련 기준 3개, Safety Guides 관련 기준 7개 등을 제정하였으며 다른 안전기준도 제정할 예정이다.

방사성폐기물 처분시설 안전성 확보를 위해 건설 단계에서는 계약자, 사업자 및 규제기관의 다중검사 체계를 유지하여 설계요건 및 각종 규제요건을 적절하게 준수하는지를 확인하며 특히 규제기관은 사용

■ 처분시설 인허가 흐름도(착공전까지)



나) 국내 관련법령 및 규제 기준
방사성폐기물 처분시설을



전검사 및 품질검사를 통해 시설의 안전성을 확인한다. 운영단계에서는 규제기관의 상시 검사체제를 구축하여 사업주의 규제요건 이행상태를 점검하며 처분검사, 정기검사, 품질검사를 통해 설비 및 시설의 안전성을 검증받는다.

2) 폐쇄후 제도적인 관리 및 민간 환경감시기구의 운영

방사성폐기물 처분시설의 안전성 확보 노력의 일환으로 건설, 운영단계에서의 환경감시와 시설 유지보수 뿐 아니라 시설 폐쇄후의 시설 유지보수, 출입통제, 환경감시, 배수관리, 토지 사용제한 영구표식 등 제도적인 관리를 수행하고, 건설에서 폐쇄후 단계까지 지역주민과 환경단체 등이 참여하는 민감환경감시기구를 설치, 운영하여 지속적인 환경감시를 수행한다.

3) 안전성평가

방사성폐기물 처분시설의 부지 사전승인, 건설·운영 허가 신청 및 사용전 검사, 시설 폐쇄시의 안전성평가(safety assessment)를 포함하여 매 10년마다의 주기적인 안전성평가 등 부지선정단계부터 건

설, 운영, 폐쇄 및 폐쇄후 단계에 걸쳐 반복적, 주기적인 안전성평가를 수행하여 시설의 안전성을 입증, 확인한다. 안전성평가는 처분시설의 충분한 안전성을 확보하고 있다는 것과, 인간 건강과 환경을 보호하기 위한 적절한 요건을 만족시킬 수 있음을 합리적으로 보장하기 위한 것으로서, 처분시설의 국제기준과 국내요건을 만족하도록 건설, 운영, 폐쇄 및 폐쇄후 관리됨을 규제기관 등에 보여 처분 안에 대한 의사결정의 근거로 사용되는 것이다. 국내 중저준위 방사성폐기물 처분시설의 성능요건으로는 과학기술부 고시에 의해 성능목표치는 연간 0.02 mSv로 제한하고 있다.

요약하면, 중저준위 방사성폐기물 처분은 인간 및 환경의 보호와 미래 세대에의 부담 최소화 원칙아래 안전성확보를 위한 심층방어(defense-in-depth)를 통해 이루어진다고 할 수 있다. 즉, 중저준위 방사성폐기물 처분시설은 다중방벽과 단계별 관리에 의해 안전성을 확보하고 있다. 특히 우리나라의 중저준위 방사성폐기물 처분시설의 경우, 입증된 처분시설 설계와 안전성평가 기술을 적용하고, 정부의 단계별 엄격한 규제, 독립적인 민간환경감시기구에 의한 환

■ 단계별 안전성 평가



경감시, 그리고 단계별, 주기적 안전성평가를 통한 안전성 입증과 국제원자력기구와 국제 전문가그룹에 의한 안전성평가 결과의 검증 등을 통해 다중의 종합적인 안전성 확보체계를 구축하여 운영한다.

7. 맺음말

2003년 11월 3일 서울에서 개최된 『원전수거물 관리에 관한 국제 심포지엄』에 참석한 세계 각국의 방사성폐기물 전문가들은 “중·저준위 방사성폐기물 처분시설은 안전하고 환경적으로 수용 가능한 방법으로 방사성폐기물을 처분하고 있으며 지금까지 환경이나 인체에 영향을 미칠 수 있는 사고는 단 한 건도 발생하지 않았다”라고 발표했다.

우리회사는 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 설계에 안전성이 입증된 설계개념을 적용하고 국제 원자력기구(IAEA)의 “방사성폐기물에 대한 안전기준”과 국내 원자력 규정을 철저히 준수하고 규제기관의 각종 검사와 주기적인 안전성평가를 수행하여 시설의 안전성을 입증, 확인할 예정이다. 또한 국내 법적 처분장 제한치인 연간 0.02 mSv 보다 낮은 연간 0.01 mSv로 처분장의 설계, 운영 목표를 설정하여 인간과 환경에 대한 영향을 최소화하는 등 안전성확보를 최우선으로 할 계획이며, 부지조사, 건설, 운영 및 폐쇄후 제도적 관리기간의 전 과정에 걸쳐 지역주민, 전문가, 시민사회단체 등이 참여하여 시설의 안전성을 직접 확인할 수 있는 기회를 제공하여 투명성을 보장할 계획이다.