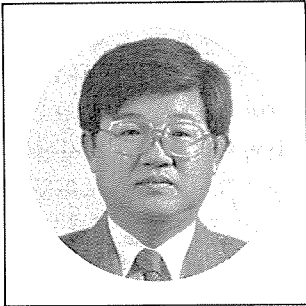


핵폐기물의 저장과 관리

“安安全性 설득과 處理기술 개발해야”



李 銀 哲
〈서울대工大 교수〉

원자력이 우리 생활에 이용되기 시작되지 40여년에 이르며 그동안 상당한 기술이 축적되어 이제는 원숙한 기술의 하나로 분류되고 있다. 그러나 원자력의 사용으로 얻는 혜택은 그에 상응하는 댓가를 요구받고 있다. 고대 원시인들은 그들이 먹고난 동물의 뼈조각이 동굴 구석에 쌓여가는 것을 보며 이 쓰레기를 어디에 버려야 할지를 고민하였고, 이러한 고민은 현대에 이르기까지 계속되고 있다. 방사성폐기물은 원자력발전, 핵연료주기 및 기타 방사성 동위원소의 산업체이용, 연구기관 및 병원등에서 불가피하게 발생된다. 발생된 방사성폐기물은 방사능 준위에 따라 일반적으로 중·저준위와 고준위로 분류되며, 전자의 경우에는 그 잠재 위험성이 짧게는 몇년, 길게는 500년간 지속되며, 고준위의 경우에는 10만년 이상까지 지속적으로 위험이 존재한다. 따라서 방사성폐기물은 장기간 인류에게 피해를 주지 않도록 안전하게 격리되어 관리해야 하며 이를 위해서는 방사성폐기물 자체가 고형화된 상태로써 안정되어야 하며 포장용기는 물론 처분장 및 처분부지가 총체적으로 안전하여야 한다. 폐기물의 고체화가 고형화된 상태로 안전하도록

하는 것은 처리기술이며, 처분장과 처분부지의 안전성을 보장하도록 하는 조치는 처분기술로 볼 수 있다. 여기에서는 방사성폐기물의 발생원인과 분류, 그리고 전반적인 관리원칙에 대해 설명하고, 세계적으로 처리 처분에 관한 현황과 우리나라의 관리실태를 설명하고 문제점을 지적하고자 한다.

방사성폐기물의 발생원인 및 분류

방사성폐기물의 일차적인 발생원은 크게 ① 원자력발전소의 운영 ② 핵연료 주기시설의 운영 (핵연료 생산, 재처리등) ③ 방사성동위원소 이용 등이며 방사선 준위에 따라 고준위와 저준위로 구분하거나 또는 고준위, 중준위, 저준위 및 극저준위로 구분하고는 있으나 전세계적으로 공인된 구분은 없다.

방사성폐기물의 관리와 처리기술

방사성폐기물의 관리란 방사성폐기물과 관련

된 정책수립, 분류, 수송, 처리, 임시저장과 영구 처분의 일련된 작업을 총괄하여 의미한다. 방사성폐기물의 관리원칙은 방사선 작업자의 피해를 최소화하고 오염물의 부피를 최소화하며 인간생활 환경으로부터 격리시켜 영구적으로 방사선에 대한 안전을 보장하기 위한 것이다. 이 원칙에 따라 일반적인 관리 처리처분방법을 개념적으로 표현하면 <그림-1>과 같다.

방사성폐기물의 처리기술로는 크게 두 단계의 기술로 구분할 수 있다. 즉, 폐기물의 사전처리 및 부피축소와 폐기물의 고화처리가 그것이다. 각각의 처리기술을 간단하게 설명하면 방사성폐기물을 고형화하기 전에 폐기물의 농축액을 고화공정과 고화매질에 적합하도록 물리적 또는 화학적으로 형태를 변형시키며, 동시에 부피를 축소시킨 다음 반감기가 긴 물질들을 분리하고 가능한 한 많은 비방사성 물질을 제거시키며, 재사용이 가능한 비방사성 물질은 회수하고, 최종 폐기물고화체의 침출특성을 양호하게 하기 위하여 핵종들을 용해되지 않도록 한다. 이 과정에서 먼저 수분을 제거하는 데, 증발 및 건조방법, 원심분리 방법, 동결융해법 및 여과방법이 사용된다.

또한 열 및 화학적으로 활성인 물질들은 소각이나 화학적파괴, 기계적처리 등을 통하여 절단하거나 분쇄 또는 압축을 통하여 부피를 축소하며, 제염처리를 위하여 화학적 제염방법이나 용해 또는 기계적 제염방법을 사용한다. 이렇게 축소된 폐기물은 시멘트나 아스팔트 또는 플라스틱으로 고화시켜 처분하도록 조치하고 있다.

고화방법으로 사용되는 매질들은 각각 장단점이 있으며, 현재로는 세계 각국에서 가장 편리한 매질을 선택하여 사용하고 있다.

방사성폐기물의 처분방법

폐기물의 관리정책에서 저장방법, 처분방법 그리고 처분이전에 어느 정도 기간동안 저장되어야 할 것인지 등에 관한 결정이 중요하다. 이 과정에서 고려되어야 할 요소들은 경제성, 사회적인 문제, 정치적인 문제들이 골고루 포함되어야 한다.

가장 중요한 것은 방사성폐기물의 처분이 처리된 폐기물을 안전하게 장기적으로 생태계로 부터 격리시킴으로써 방사선장애로 부터 일반 대중 및 자연환경을 보호하여 국민보건을 향상시키고 원자력에 대한 국민의 신뢰성을 재고하는데 궁극적인 목표를 세워야 한다는 점이다. 여기서는 이러한 목적을 살리고 원자력의 평화적인 이용을 극대화시키기 위한 처분기술에 대하여 살펴보고자 한다.

처분기술

방사성폐기물의 처분에 있어서는 자연생태계로 부터의 격리, 그리고 방사성물질의 희석등 야간은 상이한 원칙이 거론되고 있다. 상당히 오랜 기간동안 유독성을 가지고 있을 물질에 대해서는 한 장소에 오랫동안 보관하게 되면 잠재적인 위험이 항상 남아 있기 때문에 분산 또는 희석시키는 방법을 고려하는 것이 바람직하다. 또 경우에 따라서는 자연적으로 분산되어 점차 희석되어 결국은 허용치 이하로 낮아지게 하는 공학적 설계도 필요하다. 그러나 분산을 허용하기 위해서는 방사성 물질의 누출이 환경을 손상시키지 않고 허용될 만한 수준으로 낮아야 한다는 보장이 필요하다. 요즘에 와서는 하나의 처분시스템에 격리와 분산을 함께 채택하려는 경향이 있다. 이렇게 함으로써 반감기가 짧은 핵종들은 자연히 시간이 경과됨에 따라 방사능이 극히 낮은 수준으로 떨어지게 할 수 있으며, 값싸게 처분할 수 있다. 반감기가 긴 핵종의 경우에는 그 반감기의 수배이상 격리시킨다는 것이 어려워며 실제로 불가능하기 때문에 처분시스템의 설계에 있어서 격리를 시키느냐 하는 문제는 폐기물의 형태와 처분장의 위치, 부지 주변의 예상되는 수문학적 또 지질학적 환경에 따라 결정되어야 한다.

처분방법

① 중저준위 폐기물의 처분방법

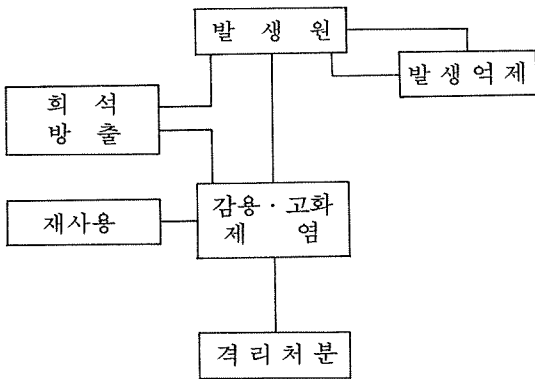
중저준위 방사성폐기물의 처분은 1940년대 미국에서 천층매몰(Shallow Land Burial)이 처음 시도된 이후 다양한 처분방식이 제안되고 있다. 그

러나 이러한 처분방식중 천층매몰, 공학적 시설 내 처분, 동굴처분을 제외하고는 모두 기술개발 혹은 검토 단계에 머물고 있는 실정이므로 여기서는 이 세가지 방식을 중점적으로 논의하겠다.

가. 천층매몰(Shallow Land Burial)

1940년대 미국에서 핵무기를 개발하여 실험하는 단계에서 발생된 저준위 폐기물을 처분하는데 천층매몰 방식을 택한 후 세계 각국에서 널리 사용되고 있다. 이 방식은 지표면에 트렌치(trench)를 파고 이 곳에 폐기물을 넣은 후, 그 위를 흙 또는 파낸 흙과 점토를 혼합하여 약 1m의 두께로 덮는 방식이다. 이 방법은 처분장 시설이 간단하고 폐기물의 처분작업이 간편하다는 장점이 있으나 지하수 또는 지표수와 접촉이 용이하며, 처분된 폐기물로부터 방사성 핵종의 누출 가능성이 있으며, 이러한 현상은 특히 기후가 습한 지역에서 현저하게 발생된다. 또한 처분시설이 지표면에 가깝게 있기 때문에 인간의 우발적 요인에 의한 폐기물과의 접촉 가능성이 크며, 이를 방지하기 위한 제도적인 통제가 필요하다는 단점이 있다.

<그림-1> 방사성폐기물의 처리, 처분 개념도



나. 공학적 시설내 처분(Engineered Facility Disposal)

이 방식은 폐기물의 유효기간중 지상 또는 지하에 설치된 인공 구조물내에 넣어 처분하는 방법이다. 지하 구조물의 처분방식중 대표적인 방법으로 콘크리트 트렌치가 있다(그림-2). 이 콘

크리트 트렌치는 앞에서 기술된 천층매몰 방식에서 사용된 트렌치의 벽과 바닥, 천정 등을 콘크리트로 보강한 후, 폐기물을 처분하는 방식으로 빗물이나 지하수의 침투를 효과적으로 방지하며, 경우에 따라 구조물의 상부를 아스팔트로 덮기도 한다.

다. 동굴처분(Rock Cavity Disposal)

동굴처분방식은 지하에 위치한 다수의 방(Room) 혹은 터널 및 이를 연결하는 통로로 구성된다. 처분장은 폐기물의 양 또는 처분방식에 따라 단일 또는 다수의 층(Level)으로 구성되며 처분시설내의 갱도는 적절한 방식으로 환기시킨다. 이 방식은 자연적 또는 인위적 사고로부터 폐기물의 격리 및 방호효과가 크고 처분부지는 흠착방법 또는 기타 공학적방법의 설치가 용이하다는 장점이 있으나 천층매몰방식에 비해 초기 소요비용이 높고, 자연 동굴의 이용시에는 동굴의 크기와 기하학적 구조의 모형 추정에 상당한 불확실성이 있으며, 폐광을 이용할 경우에는 초기 채광시에 구멍을 뚫기 위한 발파 또는 굴착 등에 의한 균열이 존재할 가능성이 있고 물이 스며들 위험도 크다는 단점이 있다.

② 고준위 폐기물의 처분기술

원자력발전소를 운영하고 난 뒤 발생하는 사용후 핵연료를 재처리하지 않고 그대로 영구처분하거나 사용후 핵연료를 재처리하면서 발생하는 고준위 폐기물을 처분하는 경우에는 중저준위 폐기물의 처분 경우보다 훨씬 엄격하게 제한이 가해져야 한다. 왜냐하면 이러한 고준위 폐기물은 그 처분방법이 최소 수십만년에서 수백만년동안 안전하게 인간환경 및 생태계로 부터 격리되어야 하기 때문이다.

고준위 폐기물의 영구처분 방법은 아직까지 확실한 방법이 없으며 세계 각국에서 적절한 방법을 찾기 위해 연구가 진행되고 있다. 현재까지 제안된 방법으로는 지층처분(Geological Disposal)과 깊은 바다의 퇴적층처분(Sea-bed Disposal)이 있을 정도이다.

가. 지층처분(Geological Disposal)

지층처분 방식은 지하 500~1,000m 위치한 암

반내에 방사성 폐기물 처분장을 건설하고 여기에 폐기물을 처분하는 방식이다. 지층처분 부지로 고려되고 있는 암석은 암염층, 점토층 및 경암층 등이 있다.

나. 심해저 퇴적층 처분(Sea-bed Disposal)

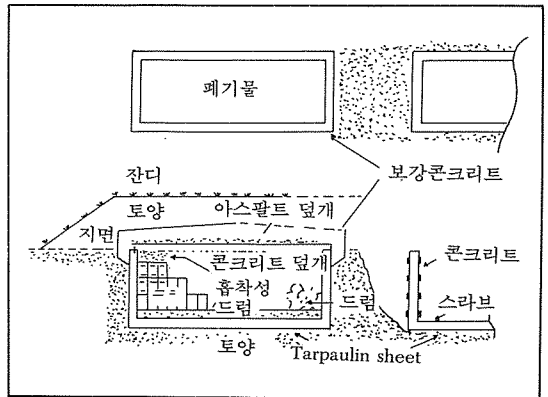
깊은 바다의 퇴적층에 방사성 폐기물을 처분하는 연구는 1974년 미국에서 시작되었다. 이 방법은 폐기물을 생태계로부터 격리시키는 능력이 우수하고 폐기물과 인간의 접촉가능성을 배제시킨다. 또 처분된 폐기물로부터 방사성 핵종이 누출되더라도 바닷물의 희석능력이 높아 인체에 대한 방사선 장애가 없다는 장점이 있어 지층처분의 대안으로 제시되고 있으며, 이 방식을 이용하여 국제적으로 협력하여 처분장을 건설하려는 움직임이 거론되고 있다.

세계 각국의 현황

미국, 프랑스, 영국, 독일, 캐나다, 스웨덴, 일본, 스위스 등의 원자력 선진국들은 방사성폐기물의 처리와 처분을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 비교적 처분을 일찍부터 계획하고 실제로 처분장을 운영하고 있는 나라로는 프랑스와 스웨덴을 꼽을 수 있으며, 현재로는 가장 성공적으로 방사성폐기물을 관리하고 있다. 프랑스의 경우 중저준위 폐기물을 1969년 이래 라만쉬에 있는 처분장에서 천연 차단방벽과 인공차단방벽을 혼용하여 트랜치에 고분식 처분을 하고 있는데 제 2의 처분장을 1991년부터 가동할 목표로 현재 건설중에 있다. 재처리 공장에서 나오는 고준위 폐기물은 유리로 고화하여 재처리 공장부지 내에 저장중인데 2000년 이후에는 심지층 처분장을 건설하여 영구처분할 계획으로 있다.

스웨덴은 1988년에 두개의 진입터널, 두 개의 사일로, 다섯개의 처분터널로 구성된 중저준위 폐기물 처분장을 발전소 인근 해저에 완공하여 운영중에 있다. 또한 재처리하지 않은 사용후 핵연료의 지하 습식 저장시설을 운영하고 있으며, 2020년 이후에는 심지층 처분장을 건설하여 관리할 계획이다.

<그림-2> 공학적 시설내 처분 개념도



미국은 1962년 최초의 상용처분장이 네바다주에 건설된 이후 현재는 세군데만이 운영중이지만, 6개의 사용처분장과 10개 이상의 군용처분장에 중저준위 폐기물을 천층처분하여 왔다. 지금 기술보다 개선된 공학적 시설내의 처분방법을 계획하고 있다. 군사목적은 제외한 상업적인 재처리를 금지하고 있기 때문에 사용후 핵연료를 심지층 처분장을 건설하여 2000년대 초에 영구처분하려고 계획중이지만, 최근 후보 부지로 선택된 네바다주에서 주정부와 주민들의 거센 반발로 어려움을 겪고 있다.

영국은 1951년 천층처분장을 드리그에 개설하여 중저준위 폐기물의 처분을 하여 왔지만 앞으로는 동굴처분 방식을 채택하기 위하여 적당한 부지를 조사중이다. 고준위 폐기물은 2000년 이후에 심지층 처분할 계획으로 있다.

독일은 중저준위 폐기물을 암염 폐광내에 처분하고 있으며, 2000년 이후에 고준위 폐기물을 암염층내에 심지층 처분한다는 계획이다. 기타 다른 국가들도 대체적으로 중저준위 폐기물은 천층 또는 동굴처분 방식으로 처분할 계획 또는 실시중에 있고, 사용후 핵연료를 포함한 고준위 폐기물은 심지층 처분방식을 택할 계획으로 있다.

우리나라에서는 1978년 고리 원자력 1호기가 운전 개시한 이래 현재는 9기가 운전중에 있으며 또한 2기가 건설중에 있다. 이렇듯 원자력발전이 국내 전력공급에 크게 기여하면서 부산물로 상당량의 폐기물이 불가피하게 생성되고 있다.

지난 10월까지 누적된 총 폐기물의 양은 28,300드럼정도이며 발전소내의 저장능력이 약 50,000드럼정도에 불과하기 때문에 곧 포화상태에 이를 것이 전망된다. 1984년 10월 원자력위원회는 다음과 같은 방사성폐기물 관리원칙을 의결하였다.

-중·저준위 방사성폐기물은 육지처분을 원칙으로 한다.

(추후 해양처분도 고려할 수 있다.)

-중·저준위 방사성폐기물 영구처분장을 원전 부지의외부에 집중적으로 건설한다.

-방사성폐기물 종합관리를 위한 운영관리 기구를 국가주도의 비영리기관으로 설치한다.

-방사성폐기물 관리에 소요되는 경비는 폐기 발생자가 부담한다.

이후 1988년에 원자력위원회는 중저준위 폐기물 처분장을 1995년까지 완공하도록 의결하였지만 처분시설의 위치와 형태는 여론 수렴의 필요성에 의해 아직까지 결정되지 않고 있다. 사용후 핵연료와 같은 고준위 폐기물의 관리에 대한 국가적인 정책은 아직 확립되지 않았으며 다만 사용후 핵연료의 소외 저장시설 건설계획만이 논의 중에 있다.

새질서 새생활로 민주사회 이룩하자

문제점

고대 원시인들이 질병이나 위생에 관해 전혀 의식이 없었다고 하더라도 불쾌한 악취나 들끓는 파리떼 등으로 나타나는 쓰레기 처분 문제로 고통을 느꼈음이 분명하다. 이와 유사한 이유로 현대에서도 이웃에 위치한 쓰레기 하치장이나 축사, 공해공장 등에 의한 우리 생활에 악영향은 분명하기 때문에 오염발생원은 물론 폐기물 처분장에 대해 매우 거센 거부감을 갖게 한다. 요즘에 와서 잘 알려진 NIMBY(Not In My Backyard) 증후군이란 표현이 이런 점을 잘 반영해 주고 있다. 이를 직역하면 "나의 뒷마당에는 절대 안된다"라고 할 수 있는 이 NIMBY 증후군이 오늘날 방사성 폐기물 관리, 특히 처분을 계획하고 있는 모든 나라에서 직면하고 있는 가장 큰 문제라고 볼 수 있다. 대부분의 사람들에게 자기 집옆의 "핵쓰레기 매립장"을 가까이 둔다는 사실 자체가 견딜 수 없을 만큼 불쾌할 수밖에 없다.

따라서 방사성폐기물의 처분을 가능케 하기 위해서는 현지 주민들에 대해 안전성이 충분하다는 설득이 병행해야 되며, 지금보다 훨씬 더 개선된 과학적이고 공학적인 설계방법을 개발해야 되며, 관리와 처분이 안전하게 운영될 것임을 납득시키는 방법이 선결문제라고 할 것이다.

메아리 視角

어둠속을 날으기 위해 천연의 소너(음향탐지기)를 본능적으로 사용하는 박쥐와 같이 인간은 메아리의 소리를 해석하여 스스로 방향을 아는 선천적인 능력을 갖고 있다. 플로리다주 오클랜드 파크의 전자에너지언어인 아담 조젠센은 이것을 이용하여 장님의 소리로 「볼 수

있는」 휴대용 소너를 개발했다.

조젠센의 메아리탐지시스템은 박쥐의 자연레이더처럼 작동한다. 약 18인치 길이의 배터리작동장치에 어떤 특정한 방향을 겨냥하면 극초음 신호의 흐름을 발사한다. 신호가 되돌아오는 경과시간을 측정하면 이 장치는 메아리의 돌아오는 시간을 청각보조기처럼 귀에 찬 리시버에게 전송한다. 극초음 신호는 인간의 귀가 해석하기에

는 너무나 빠르기 때문에 이 장치는 전자식 지원기를 사용하여 보다 감지할 수 있는 범위로 메아리를 길게 뽑는다.

조젠센은 「사람은 각각 능력이 다르지만 연습을 하면 장님도 점자를 읽는 것처럼 솜씨 좋게 거리를 들을 수 있다고 말하고 있다. 그는 「장님들이 주위의 공간의 소리의 영상을 얻는다. 이것은 첨단 청각보조기처럼 매우 간단하다」고 덧붙였다.