

NEA 회원국의 장수명 방사성 폐기물 관리 현황

다카하시 마코토

OECD/NEA 사무차장



이 논문은 사용후 핵연료의 재처리로부터 발생하는 고준위 폐기물과 재처리되지 않고 처분될 사용후 연료에 중점을 두고 있다. 현재 고준위 폐기물의 안정화를 위해 선호되는 기술은 산업적으로 이용 가능한 유리화이다. 사용후 핵연료에 대하여는 기술적 장애가 적은 캡슐화 방법이 사용된다. 그러한 캡슐화 공정은 스웨덴 및 독일에서 시험이 예정되어 있다.

유리화된 고준위 폐기물 및 사용후 연료의 중간 저장은 상당한 기간 동안 진행되어 왔다.

심층 지하 처분은 고준위 폐기물 및 사용후 핵연료에 대해 국제적으로 선호된 처분 방식이다. 이 분야에서 최근 중요한 기술적 진전이 이루어졌다. 심층 지하 처분의 설계, 평가 및 규제와 관련된 문제에 대해 기술적 능력이 발전되어 왔다.

처분 기술 및 설계가 개선되었으며, 기술적 개념의 능력이 입증되었다. 잠재적 심층 처분 부지를 확보하기 위한 부지 특성이 조사되었다.

몇몇 지하 연구소가 운영중이며, 그들은 귀중한 기술적 자료를 제공하고, 처분 개념에 긴요한 기술적 지질학적 특징을 확인하도록 지원했다.

또한 모델 및 자료의 불확실성을 다루는 것을 포함하여 심층 처분 계통의 장기적 안전성 평가 분야에서 중대한 진전이 주목되고 있다.

비방사성 폐기물뿐만 아니라 단수명 방사성 폐기물의 관리에 있어서 기술적 성공 및 경험에 기초하여, 방사성 폐기물 관리 업계는 장수명 폐기물의 지층 처분을 시행하기 위한 재정적·제도적 요건을 명확히 해왔다.

그러나 지층 처분 부지 확보에 관한 최근의 경험은, 분명히 전문가에 의한 지층 처분의 장기적 안전성의 신뢰가 비전문가 그룹에 의해서 반드시 공유되지 않는다는 사실이다.

처분 시설의 시행에 대한 중요 과제가 점진적으로 더 넓은 계층에 의해 결정된다는 기술계 내의 광범위한 인식이 있다.

소 개

방사성 폐기물의 관리는 폐기물의 안정화, 저장, 수송 및 처분 측면에서 비방사성 폐기물의 관리와 다를 바 없다.

그러나 방사성 폐기물은 약간 흥미로운 특징들을 가지고 있으며, 문제를 토론하기 전에 방사성 폐기물의 특징들을 정리하는 것이 유용할 것이다.

폐기물의 부피는 상대적으로 작으며, 관리 가능하다. 폐기물의 물리적·화학적 특성은 잘 이해되어 있다. 폐기물 발생자들은 잘 알려져 있으며, 그들의 대부분은 재정적으로 튼튼한 전력 회사들이다.

이러한 요소들은 폐기물 관리 프로그램의 결정을 지연시키는 데에 한 몫을 해 왔다.

방사능은 측정하기 용이하다. 포함된 핵종에 따라 폐기물의 독성이 좌우되며, 고준위 폐기물 및 사용후 핵연료 같은 특정 폐기물은 장기적 고려를 필요로 한다.

방사선이 치명적이라는 인식이 있으며, 이러한 인식은 폐기물 관리의 진전을 방해해 왔다.

방사성 폐기물의 관리는 원자력의 지속적인 개발 목표를 달성하기 위하여 필수적이다. 원자력기구(NEA)는 경제협력개발기구(OECD)의 일원으로서 이 일에 간여해 왔다.

'저장(Storage)' 과 '처분(Disposal)'의 용어 사용은 오랫동안 혼란을 야기해 왔다. 그들 둘 다 장기적 안전성을 확보하기 위한 안정화 폐기물의 격리 또는 제한을 의미한다.

그러나 이 논문에서 저장은 처분을 기다리는 중간 수단을 기술하는 데에 이용되며, 처분이라는 용어는 장래 어떤 조치도 계획되지 않은 수단으로 쓰인다. OECD 회원국에서 저준위 폐기물의 관리는 다소간 확립된 사례이다. 수많은 처분 시설이 가동중에 있다. 그러므로 이들 국가의 주요 관심사는 장수명 폐기물의 관리 방안에 관한 것이다.

이러한 형태의 폐기물은 사용후 연료 재처리에서 발생하는 고준위 폐기물, 처분될 사용후 핵연료 및 초우라

늄 폐기물을 포함한다.

장수명 폐기물의 안정화

폐기물의 안정화는 폐기물 관리에 있어서 중요한 과정이다. 그것은 폐기물의 안전한 취급 및 수송을 용이하게 하며, 장기적 안전성을 개선시킨다.

재처리에서 발생하는 고준위 폐기물의 안정화를 위하여 여러 과정이 개발되어 왔다. 유리화 과정은 선호된 산업적 과정으로 선택되어 왔으며, 산업적 규모의 설비가 프랑스·영국·일본 및 미국에서 가동중에 있다.

세라믹 형태의 안정화 같은 기타 과정이 연구되어 왔지만, 산업적 적용 수준에는 도달하지 못했다. 액체 형태의 고준위 폐기물의 수송은 안전성 관점에서 실용적이지 않으므로 고준위 폐기물의 안정화는 재처리 현장에서 수행된다.

초우라늄 폐기물은 적은 열을 발생시키므로 안정화를 위하여 유리화보다 단순한 과정이 적용된다.

사용후 핵연료에 대하여 캡슐화 과정이 이용되고 있으며, 이것은 고준위 폐기물처럼 정교한 취급을 요하지 않으므로 기술적으로 덜 도전적이다.

캡슐화 과정은 집중 저장 부지 또는 처분장에서 수행될 것이다. 공학적 과정이 스웨덴 및 독일에서 시험될 예정이다.

지금까지의 운영 경험에 비추어 안

전 요건 및 폐기물 관리 비용에 대한 개선된 이해를 가져 왔다. 지방사능의 다량 폐기물의 취급은 고방사능의 소량 폐기물 취급보다 더 많은 비용이 든다. 이것은 폐기물 감용 기술에 대한 새로운 관심을 가져왔다.

안정화 폐기물의 저장 및 수송

안정화된 고준위 폐기물 및 사용후 핵연료의 저장은 잘 확립되어 있다. 안정화된 폐기물은 거의 확산의 위험이 없으므로 안정화된 고준위 폐기물의 저장은 안전하고 신뢰적이다.

주요한 안전성 고려 항목은 방사선 차폐 및 열 제거이다. 그러므로 안정화가 추가적인 안전 장벽을 제공하므로 이들 설비들은 필수적으로 어떤 능동적 안전 제어 계통을 요하지 않는다.

사용후 핵연료의 경우, 열 발생과 핵분열성 물질의 존재로 신뢰성있는 안전 제어 계통이 요구된다. 원자력 발전소와 재처리 공장에 있는 많은 사용후 연료 저장 설비는 안전 제어 계통을 갖추고 있다.

기술적으로 저장은 수십년 또는 그 이상 동안 연장될 수 있다. 그러나 저장의 장기적 안전성 확보를 위하여 적절한 감시 및 점검 조치와 제도적 재정적 준비가 필요하다.

안정화된 폐기물 및 사용후 연료의 안전한 수송을 위한 규정은 잘 확립되어 있다. 비록 특별한 경우에 이들

수송들이 강력한 언론의 주목을 받고, 일부 국가에서 반핵 시위의 목표가 되어 왔지만, 잘 정렬된 수송은 안전하다는 것을 과거 경험이 입증해 왔다.

지층 처분

매우 오랫동안 지상 집중 저장은 처분의 한 방안으로서 거론되어 왔다. 장수명 폐기물의 집중 저장은 제도적·재정적 장치와 매우 장기적인 점검 및 감시조치의 유지를 필요로 한다. 이들 장치들은 미래 세대에 불필요한 짐을 유발할 수 있는 경제적·사회적 안정성에 의존한다. 그러므로 심층 지하 처분은 고준위 폐기물 및 사용후 핵연료에 대해 국제적으로 선호된 방법이다.

한편 이런 형태의 처분은 고도의 장기적 제한 또는 격리 능력을 요한다. 자연 유사물 및 자연 원자로 현상에 대한 최근의 연구 결과에 따르면, 주의 깊게 시행된 지층 처분이 방사능을 무해한 수준까지 붕괴시키는 데에 충분히 오랜동안 장수명 방사성 폐기물을 격리시킨다는 것을 설득력 있게 입증해 왔다.

다른 지층 형태가 NEA 회원국에서 연구되어 왔다. 이들은 폐기물 격리 시험 사업(WIPP)의 총상염, 유카산맥 사업의 응회암, 벨기에 CEN-HADES 및 미래의 프랑스 지하 실험실의 점토와 핀란드, 또다른 미래

의 프랑스 지하 실험실, 일본·스웨덴 및 영국의 화강암 등이다.

최근 지층 처분에 대한 중요한 기술적 진보가 이루어졌다. 이들 설비의 설계·평가 및 규제에 관련된 문제에 대해 기술적 능력이 개발되어 왔다. 잠재적 심층 처분 부지를 확보하기 위한 부지 특성이 조사되었다. 처분 기술 및 설계가 개선되었으며, 처분 개념의 타당성이 실증되었다.

핵종의 이동을 지연시킬 완충재 및 메움재도 개발되었으며, 충분한 능력을 제공하도록 시험되었다.

몇몇 지하 연구소가 운영중이며, 그들은 귀중한 기술적 자료를 제공하고 처분 개념에 긴요한 기술적 지질학적 특징을 확인시켜 왔다.

일부 연구소는 잠재적 또는 제안된 처분장에 위치하고 있으며, 일부는 일반적 연구 개발을 수행하고 있다. 또한 불확실성을 다루는 것을 포함하여 심층 처분 계통의 장기적 안전성 평가 분야에서 중대한 진전이 주목되고 있다.

심층 지하 처분의 계획·건설·운영 및 폐쇄가 단계별로 검토된다. 성능 평가 계산은 지하 처분장의 안전 계통을 지원할 기술적·과학적 근거의 가장 중요하고 필수적인 부분으로서 일반적으로 고려된다.

그들은 처분 계통의 행태 및 시간에 따른 변화의 충분한 이해를 필요로 하며, 안전 계통의 장기적 행태 및 안전성의 예측이 아니라 보수적인 설

명을 준다.

처분장의 개발에 적용되는 규제 과정은 규제 기관 및 사업자에 의해 토론되어 왔다. 규제 과정의 기본적 요소들이 원자력 설비와 실질적으로 크게 다르지는 않지만, 개발 과정이 다소 복잡하고, 다른 설비의 규제 과정에서 고려되는 것들보다 시간 규모가 크다.

장수명 폐기물의 격리·제한의 예상된 매우 점진적인 전개를 고려할 때, 지질학적 추론이나 안전성 평가 계산으로부터 지층 처분의 안전성 평가에 대한 마감 시간의 진실한 정당성은 없다.

증가하는 불확실성 때문에 안전성 평가는 필수적인 양적인 접근에서 매우 장기적으로 더 질적인 고려로 변화되어야 할 것이다. 그러나 일만년 이상 같은 장시간의 규모는 안전성 평가에서 무시될 수 없다.

규제를 입안하는 데에 있어서 고정된 시간 규모를 정하는 문제는 규제 과정의 수행에 관한 필수적인 일종의 독단처럼 보이며, 하물며 규제 기관 및 사업자 간의 기본적 토론의 문제는 아닌 것 같다.

지층 처분을 개발하는 과정은 NEA 회원국들에 있어서 각각 다른 단계에 있다. 미국에서 뉴멕시코주의 WIPP는 초우라늄 폐기물을 처분하도록 개발되었으며, 98년에 환경보호국(EPA)으로부터 최종 인증을 받았다. 곧 운영을 개시할 준비가 되어 있다. 유카산맥 사업은 원전의 사용후

연료를 처분하도록 개발되어 왔다. 동 사업은 2001년까지 대통령에 의해 처분장으로 추천되어 원자력규제위원회(NRC)에 의해 인가를 받을 목표로 나아가고 있다.

프랑스에서는 폐기물 관리 법령에 따라 지하 실험실을 개발하고 처분장을 선정하기 위하여 4곳의 예비 부지가 조사되었다. 검토 과정 후 정부는 작년에 첫 번째 지하 실험실을 개발할 부지를 결정하는 한편, 두 번째 화강암 실험실용 부지를 확보하기 위한 노력을 계속할 것이다.

핀란드에서는 폐기물 관리 기관이 집중적인 여론 수렴 후 4곳의 후보지에 대한 환경 영향 평가 보고서를 준비해 오고 있다. 그 기관은 99년 정부에 보고서를 제출할 예정이며, 최종 부지 결정은 2000년 말까지 이루어질 것이다.

스웨덴에서는 더 세부적인 조사의 적용을 위한 근거를 만들기 위하여 표면 부지 조사를 위한 두 곳의 부지가 선정되기 전에 일련의 타당성 조사가 시행되었다. 처음 두 타당성 연구는 완료되어 지역 사회에서 검토되었다. 두 경우 다 지방 투표가 실시되어 조사 계속(안)이 부결되었다. 폐기물 관리 기관은 추가 타당성 연구를 수행해 오고 있다.

영국에서는 폐기물 관리 기관이 한 부지를 제안하였으나, 정부가 철차상 문제로 그 제안을 반려했다. 상원은 폐기물 관리 전략을 전반적으로 검토

하고 있다.

독일에서는 신 정부가 건설중인 두 부지를 포기하기로 결정하였으며, 전적으로 새로운 부지 선정 과정을 시작했다.

벨기에·캐나다·일본 및 스위스 같은 구체적인 원자력 프로그램을 갖고 있는 기타 NEA 회원국들은 지하 실험실의 개발부터 현장 실험 등 연구 개발 프로그램을 시행하고 있다.

종합적 접근

비방사성 폐기물뿐만 아니라 단수명 방사성 폐기물의 관리에 있어서 기술적 성공 및 경험에 기초하여, 방사성 폐기물 관리 업계는 장수명 폐기물의 지층 처분을 시행하기 위한 재정적·제도적 요건을 명확히 해 왔다.

NEA 연구에 따르면 책임 부담 비용이 총전기 생산 비용의 작은 부분인 것으로 평가되며, 발전소 폐로 뿐만 아니라 폐기물 또는 사용후 핵연료의 관리에 필요한 기금을 확보하기 위한 다양한 시스템이 운영되고 있다.

지층 처분 부지 확보에 관한 최근의 경험은 분명히 전문가에 의한 지층 처분의 장기적 안전성의 신뢰가 비전문가 그룹에 의해서 반드시 공유되지 않는다는 사실이다.

처분 시설의 시행에 대한 중요 과정이 점진적으로 더 넓은 계층에 의해 결정된다는 기술계 내의 광범위한 인식이 있다.

이것은 의사 결정 과정에서 환경

적·사회적·경제적 및 기타 요소들을 종합하는 제도적 장치의 필요성을 나타낸다.

처분장 개발 과정은 길며, 그 운영은 아마도 최소한 50~60년 지속할 것이다. 부지 선정, 건설 및 폐쇄 단계를 고려할 때, 전과정은 100년 가까이 갈 수도 있다.

앞에 놓인 도전들은 전반적인 안전성 저해없이 새로운 기술적 또는 과학적 발견에 따라 체계를 조정할 필요 가능성뿐만 아니라 기술적·과학적 근거를 유지하는 것을 포함한다.

비록 처분장의 개발 과정과 그 운영이 원자력 설비와 유사하지만, 의사 결정 과정이 투명하고 제3자의 참여가 허용되도록 일부 조정이 필요할 수 있다. 이 과정은 국가적 상황 및 규제 요건에 의존한다.

때때로 현행 처분 개념의 대안들, 즉 장기적 저장, 장수명 핵종의 변환 또는 먼 우주 공간에의 폐기물의 처분 조차 정치인·대중 및 언론의 주목을 받는다.

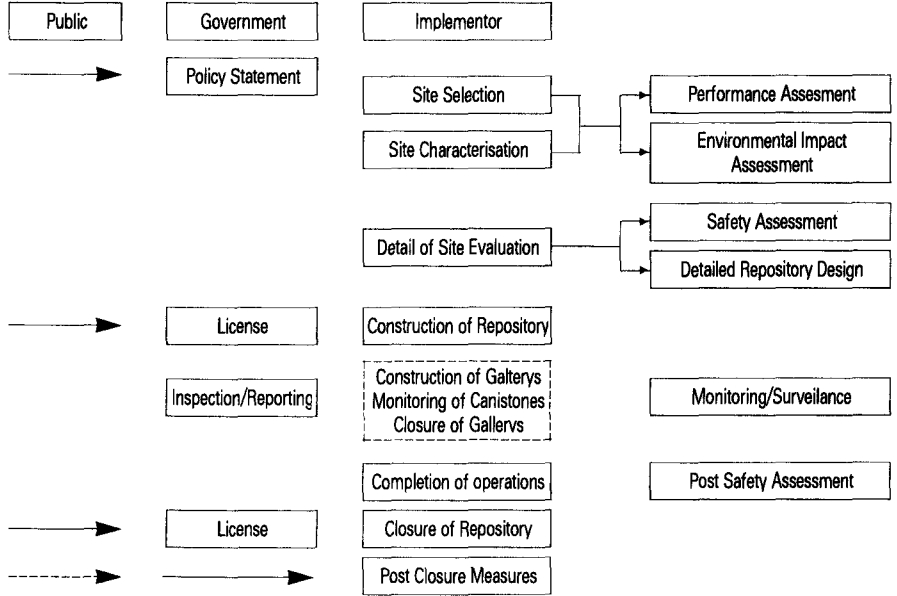
변환은 만일 모든 장수명 핵종이 효율적으로 단수명 핵종으로 변환된다면 매력적인 해결책일 수 있다.

변환을 위한 기기 기술이 연구되어 왔지만, 아직 실험실 규모 기술에 머물고 있다. 실험실 기술을 산업적 기술로 개선하는 것은 원자력계가 경험하여 왔듯이 시간과 자원을 요한다.

장기적 저장의 관점에서 하나의 문제는 검색성의 문제이다. 검색이 용이

하도록 처분 개념에 특별한 기술을 도입하는 것은 제정의 장기적 안전성과 양립할 수 있다.

그러나 폐기물을 검색할 기술이 가능하므로, 비용이 고려되지 않는다면 폐기물은 항상 검색 가능한 상태에 있을 것이다. 특히 비록 숙주 형성의 장기적 건전성을 유지하는 관점에서 전체 폐기물통의 설치가 완료된 직후 보 관대를 닫는 것이 바람직할 것이지만, 이미 폐기물은 처분장의 운전 기간 동안 접근 가능하고 검색 가능한 상태에 있을 것이다.



〈그림〉 처분장 개발 과정

국제 협력

장수명 폐기물의 처분장의 수는 제한될 것이다.

지층 처분 프로그램의 전문가의 수도 제한될 것이다. 그러므로 안전성을 분석하고 처분장을 개발하는 경험은 귀중하며, 국제적으로 공유되어야 한다.

OECD/NEA는 지층 처분 개념의 개발을 진전시키는 데에 도움이 되어 왔다. 전문가 포럼 개최, 자료 변환 및 데이터 베이스 개발, 안전성 평가 도구 개발 및 공동 사업 구성에 있어

서 NEA의 역할은 널리 인식되어 왔다. 자국의 전문가에 의해 수행되는 일에 추가적인 기술적 과학적 신뢰를 주도록 전문가 점검을 시행해 왔다. NEA는 캐나다·스웨덴 및 영국의 프로그램을 위하여 그러한 점검을 구성하였으며, WIPP 프로그램의 최근 점검은 국제원자력기구(IAEA)와 공동으로 구성되었다.

국제적으로 동의된 폐기물 관리 관행이 바람직하다. IAEA는 이 분야에서 수행할 역할을 갖고 있다.

특히 사용후 연료 관리의 안전성 및 방사성 폐기물의 안전성에 관한 공동 협약은 안전성을 강화하고 더욱 투명한 관행을 구축하는 데에 기여할 것이다.

결론

지층 처분의 기술은 여러 처분 개념의 타당성과 건전성을 입증하는 데에 중요한 진전을 이룩해 왔다. 진행 중인 프로그램은 지층 처분의 장기적 안전성을 위한 과학적·기술적 근거를 계속 강화해 나갈 것이다.

인허가 과정은 나라마다 다르지만 〈그림〉에 보이듯이 중요한 공통 요소가 있다. 더 많은 진전을 성취하기 위하여, 의사 결정의 사회적 환경적 측면을 통합하는 장치가 긴급하게 요구된다.

많은 국가에서 지층 처분 프로그램을 진전시킬 중요한 결정을 취해야 할 시간이 왔다. 공개성과 리더십이 필수적이다. ☞