

스웨덴의 방사성 폐기물 관리

S. 뷰르스트림

스웨덴 SKB사 사장



“
우리는 기술과 경제적
재원이 있는 한 폐기물의
최종 처분 문제를
차세대에 물려주어서는
안됩니다. 이는 전기를
사용해 온 세대의
책임이기 때문입니다.
”

스

웨덴은 현재 총시설 용량 10,000 MW의 12개 원자력발전소를 운영하고 있으며, 국내 전기 소비량의 약 50%를 담당하고 있다. 나머지의 대부분은 수력발전이 담당하고 있다.

원자력에 대한 80년의 스웨덴 국민 투표는 원자력 계획을 현행 12개 발전소로 제한하였으며, 이러한 결정은 재정 및 규제 뿐만 아니라, 폐기물 관리를 위한 기술적 체제의 계획 기초가 되었다.

핵연료 주기 및 방사성 폐기물은 다른 원자력발전 국가와 마찬가지로 스웨덴에서 수년간 원자력발전 개발 및 논의상 주요한 부분을 차지하고 있다.

이는 특히 사용후 연료 및 다른 장수명 폐기물의 처분과 관련되어 있다.

스웨덴은 70년대 후반부터 방사성 폐기물의 안전 관리를 위한 기술적 체제를 개발하고 이행하기 위한 필요한

지식의 획득과 타당성 있는 안전 처분을 위해 방대한 경제적·과학적 재원을 할당하여 왔다.

그에 따라 스웨덴은 의학적·연구계·산업계로부터 발생하는 적은 양을 포함하여 국가 내 방사성 폐기물의 모든 종류를 위한 체제를 개발하고 건설·운영해 왔다.

스웨덴은 현재 심층 처분장에서 영구 최종 처분을 위한 완전한 체제를 갖추기 위해 나머지 부분을 건설하기 위한 초기 단계의 작업을 수행하고 있다.

기술적 시스템, 규제 및 재정을 이행하기 위한 최선의 입법 및 행정 체제의 수립도 중요하다.

스웨덴에서는 원자력발전을 위한 폐기물의 안전 취급 및 처분을 위한 일차적 책임은 SKB사의 지원을 받는 발전소 운영자에게 있다.

그렇지만 원자력 안전 및 방사선 방

호를 위해 정부 및 업계는 소관 기관의 지원을 받아 SKB사의 작업을 지켜보며, 스웨덴 내 현행 및 향후 방사성 폐기물 관리상 안전 및 방사선 방호를 감독하는 총체적이며 중요한 임무를 갖고 있다.

스웨덴 업계에서 폐기물 처리만큼 철저하고 고려하는 산업 활동은 거의 없다.

주 정부와 마찬가지로 관련 산업계는 가능한 한 조기에 폐기물 문제를 해결하고, 핵연료 주기에 대해서는 '요람에서 무덤까지'라는 접근 방법을 적용하는 것이 매우 중요하다.

폐기물 관리를 위해 책정된 자금으로 조기 수립된 재원 체제와 아울러, 산업 측면에서의 적극적인 안전 취급 및 처분을 위한 입법상 분명한 책임이 지워진 것이 스웨덴에 장점으로 작용하여 왔다.

그러나 스웨덴에서는 안전한 최종 처분에 대해 적극적으로 개발하고 있음에도 불구하고 몇몇 정치 그룹과 일반 대중의 대부분은 사용후 연료의 저장에 대한 안전성과 영향 등에 대해 매우 깊은 우려를 나타내고 있다.

여러 지방 자치 단체는 처분장을 건설하되 자기내 관할 내에 건설되는 것은 원하지 않고 있다.

스웨덴의 폐기물 관리 체제

스웨덴 원자력발전 계획에 의한 방사성 폐기물은 실제적으로 비방사성

쓰레기에서부터 고준위 방사능과 장수명이라는 특징을 갖고 있는 사용후 연료에 이르기까지 형태나 방사능 세기 측면에서 다양하며, 폐기물 형태가 다양함에 따라 취급 및 최종 처분이 각기 다르다.

취급 측면에서 볼 때 저준위·중준위 및 고준위 폐기물로 구분하는 것이 실용적인데, 최종 처분 측면에서 볼 때는 폐기물에 함유된 방사성 핵종의 반감기가 중요한 의미를 갖는다.

그 구분은 단수명(短壽命)의 폐기물과 장수명(長壽命)의 폐기물로 나뉘어진다.

원자력발전소의 폐기물은 일반적으로 세 가지 종류의 폐기물을 발생시킨다.

즉 운전으로 발생하는 단수명의 중·저준위 폐기물, 대부분 사용후 연료인 장수명의 고준위 폐기물, 그리고 원자로 폐로시 발생하는 폐기물이다.

단수명 폐기물의 최종 처분은 원자력 폐기물 처분장인 SFR에서 이루어진다.

30년보다 짧은 반감기를 가진 방사성 핵종을 포함한 단수명 폐기물은 88년 이후 SFR에서 최종 처분되고 있는데, 포스마크 원자력발전소로부터 1km 떨어진 해상 암반에 건설되어 있다.

이 시설은 스웨덴 국민들의 요구에 맞는 60,000m³의 용량으로 차세기의 상당 기간을 고려하고 있다.

SFR 시설에는 운전 후 발생한 중

준위 방사성 폐기물이 벤토나이트 점토로 둘러싸인 콘크리트 사일로 내에 저장되어 있다.

한편 저준위 방사성 폐기물은 콘크리트로 방벽을 만든 암석 방에 저장되어 있다.

안전성 관점에서 바다 바닥 밑은 거의 지하수가 흐르지 않는 이점이 있다. 이는 방사선의 잠재성 방출을 억제하며, 아울러 시설의 폐쇄 이후 처분장의 감시 필요성을 감소시켜 준다.

SFR은 이러한 종류의 처분장으로는 최초이다. 이러한 종류의 폐기물을 위한 지하 시설은 문제를 완전히 제거시키는 것으로 보인다.

10년의 SFR 운영에서 경험한 것은, 작업 환경 뿐만 아니라, 기술적 문제에 관련된 기대를 매우 만족스러운 방법으로 충족시키고 있다는 것이다.

단수명의 폐기물을 위한 유사한 암석 시설들이 여러 다른 국가에서 건설되거나 계획되고 있다.

사용후 연료의 저장

스웨덴의 후행 핵주기 전략은 비교적 장기간 중간 저장에 근간을 두고 있다.

최종 처분 전에 연료는 약 30~40년 동안 중간 저장 시설인 CLAB에 저장되고 있다. CLAB는 85년부터 운영하고 있는데, 당초 3,000톤으로 설계되었으나 저장 카세트를 변경하여 같은 저장 체적으로도 5,000톤까

지 저장할 수 있게 되었다.

현재 8,000톤까지 수용할 수 있도록 CLAB 시설을 확충하기 위한 설계 작업이 진행중에 있으며, 이는 2004년경에 운영되도록 계획이 되어 있다.

수송 체제

원자력 폐기물 및 사용후 연료는 특수 목적으로 건조된 선박인 시긴(Sigyn) 호와 많은 수송 컨테이너 및 터미널 장비를 포함한 해상 수송 체제에 의해 SFR 처분장 및 중앙 중간 저장 시설 CLAB에 수송되고 있다.

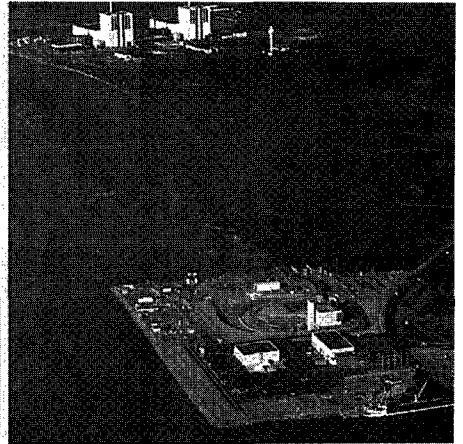
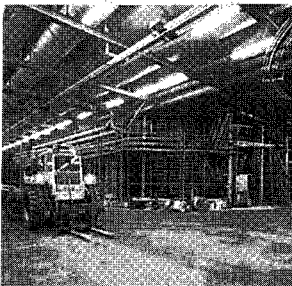
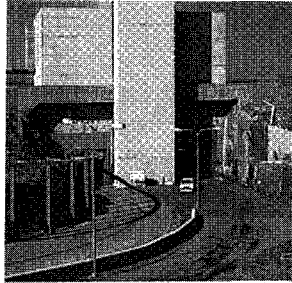
사용후 연료의 처리 및 최종 처분

수십 년 동안 중간 저장은 여러 가지 중요한 이점을 제공하고 있다.

기술적인 관점에서 장기 중간 저장은 열과 방사능을 90% 이상 감쇠되도록 하며, 따라서 그 후의 취급 및 최종 처분을 상당히 용이하게 만들어 준다.

원자로 부지에서 비교적 작은 풀(pool)로부터 사용후 연료를 이송하는 분명한 기능 이외에도 CLAB 시설은 사용후 연료의 처리 및 처분 방법의 최종 선택을 위해 주요한 실현성과 기술적 융통성을 제공하고 있다.

중간 저장이 장기간 감당할 수 있기 때문에 해결 방안 모색에 필요한 시간과 최종 처분에 관련한 결정이 잘 준비될 수 있는 시간을 준다.



스웨덴의 포스마크 방사성폐기물 처분장의 모습들

사용후 연료의 영구 처분을 위한 계획으로 말미암아 단계적 건설 절차에 이점을 줄 뿐만 아니라, 기술 입증을 위한 매우 큰 가능성을 제공하게 되며, 아울러 다음 세대가 기술을 변경하거나 에너지를 재사용하고 싶을 경우에는 처분된 사용후 연료를 다시 꺼낼 수 있는 가능성을 제공한다.

스웨덴식 암반에서의 사용후 연료의 직접적인 최종 처분에 대한 연구는

70년대 후반부터 시작되었다.

스웨덴은 그때 국가의 긴급 필요성이 있기 전에 확실하게 사용후 연료의 직접적인 처분의 초기 단계를 이행하기로 결정하였다.

92년 연구 개발 프로그램(R&D Programme)에서 SKB사는 스웨덴 원자력산업 계획을 표명하였는데, 이는 스웨덴 원자력발전소 운영으로 발생하는 사용후 연료를 포함하여 장수

명 방사성 폐기물을 심층 처분하기 위한 것이다.

이 계획은 스웨덴으로서는 가장 바람직한 계획이라고 믿어지는데, 이는 수년간의 연구 결과로 바람직한 체계를 선정하고, 심층 처분장 부지를 찾아 특성화하고, 필요한 안전성 분석을 수행하기 위한 자료를 획득하기 위한 기술이 있다는 가정에 기초한 것이다.

선택된 대안은 구리 캐니스터 내에 밀봉하는 것으로, 캐니스터는 스웨덴의 화강암 암반 내 깊은 곳에 지어진 처분장에 저장된다.

이 계획을 현실화하기 위해서는 밀봉 기술이 산업적 규모로 완전하고 안전하게 제작될 수 있도록 개발되어야 한다.

심층 처분장은 엄격한 안전성 규제가 이행되고, 필요한 활동이 관련 지자체 및 대중의 용납하에 수행될 수 있는 곳으로서 적절한 위치에 부지가 선정되고 건설되어야 한다.

스웨덴의 입장에서는 지질학적인 심층 처분 방식은 모든 종류의 방사성 폐기물을 비교적 간단한 기술적 방법으로 장기적이며, 뛰어난 안전성 여유도를 가지고 격리시킬 수 있다.

연구 및 개발

스웨덴에서는 광범위한 연구 계획이 지난 20여 년 동안 밀접한 국제 협력하에 수행되어 왔다.

스웨덴식 암반 심층 지질층에서의

사용후 연료의 안전 처분에 관련된 주요 기술을 습득한 83~84년에 국내에서 안전 처분을 위한 타당성을 입증하기 위한 광범위한 연구를 제안하였다.

70년대 이후 처분 및 관련 연구 문제에 대한 많은 대안들이 철저히 조사되었다.

처분장을 건설하기 위한 작업을 개시하기 위해서, 스웨덴은 93년 OECD/NEA에 의해 소집된 세계적 전문가의 종합 의견(collective opinion by OECD/NEA in 1993)을 이정표로 삼았다.

장기 안전성에 대한 평가 방법은 제안된 처분장으로부터 충분한 자료 및 정보가 획득되면 현재도 이용이 가능하다.

또한 지질학적 심층 처분이 폐기물의 안전 관리를 위한 바람직한 대안이라고 한 95년에 발간된 종합 의견은 스웨덴의 전략을 확실하게 뒷받침해 주고 있다.

폐기물의 위험성과 격리용 차폐벽

전세계적으로 방사성 폐기물에 대한 연구 개발 노력을 경주하는 이유는, 방사성 폐기물의 안전 처분에 관한 복합적인 문제의 향상된 과학적 지식과 함께 장기 전망에 대한 필요성 때문이다.

또한 초기 원자력발전을 둘러싼 정치 상황과 논쟁에서 불거진 원자력 핵주기 및 폐기물의 문제로 원자력업계

에 대하여 안전 취급 및 처분에 대한 매우 엄격한 요구를 유도하고 있다.

즉 인간과 환경에 어떠한 피해도 결코 야기시키지 않는 요구이다.

광범위한 연구에 근거하여 우리는 오늘날 폭넓은 안전 여유도로서 폐기물을 격리시키기 위한 가능성 뿐만 아니라, 그 위험에 관해서도 이전보다 훨씬 많은 현실적 이해를 하게 되었다.

몸에 직접 침투하는 방사선과 섭취 후 일종의 독물질 효과(poison effect)를 가져오는 방사선을 구별하는 것이 중요하다.

사용후 연료는 차폐를 요구하는 매우 강력한 방사선을 지니고 있는데 물·콘크리트·납·암석 또는 두꺼운 철강으로 비교적 쉽게 차폐된다.

그 조치는 원자력 산업계의 일일 취급으로부터 시행되고 있는데, 주로 그것은 작업 환경의 문제이다.

강력한 방사선은 세슘과 같은 원소와 연계되어 있는데, 세슘은 30년의 반감기를 갖고 수백 년 동안에 걸쳐 감쇠된다.

그러나 섭취로 인한 영향을 제거하기 위해 사용후 연료는 단수명 방사성 핵종이 감쇠할 수 있도록 수백 년을 내다보고 매우 안전한 방법으로 격리되어야 한다.

이러한 단수명 원소는 장수명 방사성 핵종보다 다소 쉽게 용해될 수 있다.

1,000년 이상의 긴 시간을 두고 본

다면 플루토늄과 같은 장수명 방사성 핵종은 위협하다.

이러한 원소의 장수명에도 불구하고, 산화물과 같은 부산물은 지하수로 용해될 가능성이 거의 없기 때문에 격리에 필요한 요건은 적다.

안전 차폐벽

처분장을 이루는 적절한 지질층은 점토·소금·편암 그리고 견고한 화강암과 같은 많은 지질학적 조건에서 찾을 수 있다.

폐기물의 유독 기간과 비교하면 모든 깊은 지질층은 폐기물에 비해 수백만 년에서 수십억 년이나 오래 되었다.

암반 내 깊은 곳에서 세월이 지나도 거의 변하지 않는 조건이야말로 먼 장래를 위한 처분장 체제의 안전 진단의 매우 중요한 기초가 된다.

폐기물 자체가 맨 첫 번째의 중요한 방벽이다.

사용후 연료는 거의 지하수에 용해되지 않으며, 유독 기간을 넘어서도 장기간 고체로 남아 있을 것이다.

이는 독성 방출을 최대한 제한한다. 그러나 안전 여유도를 더욱더 증가시키기 위해서는 다른 대책을 통하여 장기간 효율적인 격리를 준비해야 한다. 스웨덴에서는 부식 방지 구리 컨테이너, 방수 점토 그리고 필터 역할을 하는 암석 등이 환경으로부터 확실한 격리를 해 줄 것이다.

연료 밀봉

스웨덴식 시스템에서의 공학적 방벽과 밀봉 캐니스터는 주변 암석 조건에 대한 의존성을 줄이는 중요한 역할을 담당하고 있다.

캐니스터는 심층 처분장의 효력이 나타날 상태에서 장기간 온전하게 유지하기 위해 설계되고 제작되어야 한다.

또한 암석 속의 지하수로 인해 부식되지 않아야 하며, 심층 처분장에서의 기계적 응력에 의해 압축·분열되어서는 안된다.

따라서 캐니스터는 기계적 강도를 높여주는 강철과 부식 방지 구리로 만든 외부 셸 등을 넣어 만들도록 되어 있다.

진행중인 작업의 목표는 밀봉 플랜트를 완성하여 2008년에 심층 처분장으로 밀봉된 연료를 이송할 준비를 마치는 것이다.

수년 동안 많은 디자인이 연구되고 있으며, 현재도 완전한 원형이 제작되고 있다. 현재 사용하고 있는 실험실 기술은 산업화 과정으로 개발중에 있다.

밀봉 플랜트는 사용후 연료 CLAB를 위한 중앙 중간 저장 시설에 위치해야 한다고 제안되었다. 그 시설을 위한 작업은 현재 예비 설계 단계에 있다.

연료는 CLAB에 있는 저장 플로부터 밀봉 플랜트가 받게 된다. 밀봉 플

랜트의 설계는 인명 및 주변 환경을 위한 방사선 보호에 최대 역점을 두고 있다. 또한 캐니스터 취급의 대부분은 원격 조종에 의해 수행된다.

연료를 취급하는 경험은 다양한 해외 시설 뿐만 아니라 CLAB 및 SFR로부터 얻고 있다.

심층 처분장

심층 처분장은 지면 위아래에 시설을 갖춘 산업 기반이다. 심층 처분장의 설계 작업은 안전성·환경 및 기술과 관련하여 훌륭한 기능을 달성하는 것이 목표이다.

현행 공정에 따른 금세기 말까지의 임무로는 부지 허가 신청을 위한 참고 자료를 종합하고 특정 위치에 심층 처분장을 건설하는 것이다.

부 지

심층 처분장을 위한 부지는 신뢰성 있고 공개적인 결정 과정 뿐만 아니라, 광범위한 참고 자료가 있어야 한다.

SKB사는 현재 타당성 연구를 통해 심층 처분장의 부지를 위한 참고 자료를 얻고 있다.

이러한 연구에는 특별한 지역에 대한 심층 처분장 부지의 영향과 전망이 조사된다.

광범위한 참고 자료와 연계된 5~10개의 타당성 연구는 부지 선정

과정(2개 지역 조사중)의 다음 단계를 위한 기초로 활용될 것이다.

표면 조사 및 천공 조사에 의한 지질 공학적 자료는 심도(深度) 상태에 대한 정보를 제공할 것이다.

70년대 후반부터 실시된 지질 공학적 조사에 의하면 스웨덴에는 암석 조건이 처분장을 유지하기에 매우 적절한 지점이 많다는 사실을 보여주고 있다.

이는 처분장을 건설하는 데 있어 해당 시·군의 관심 사항인 안전한 암석 조건에 고도의 요건을 결부시켜도 문제가 없다는 것을 의미한다.

해당 시·군 개개의 기존 산업 구조와 산업 전통 또한 부지 선정에 있어서 매우 중요하다.

수년 동안 진행되고 있는 타당성 연구 작업으로, 사업 진행이 어떻게 개발되어야 하는가하는 점과 특히 지방 자치 단체와의 연계에 있어서 태도와 의견에 관련된 문제에 대해 구체적이고 세부적인 이해를 제공하고 있다.

지금까지 SKB사는 7~8개 지방 자치 단체와 협의하고 있으며 5개 지방 자치 단체에서 조사를 계속 진행하고 있다.

그 중에서 첫번째로 지방 의회와 상이한 의견을 표명하고 있는 시민들로서 심층 처분장의 작업 진행에 대해 강력한 반대표를 던진 스웨덴 북쪽에 위치한 스토루만(Storuman) 지방 자치 단체에서는 지방 투표로 연구가 무리되었다.

현재 유사한 연구가 북쪽 탄광 지구 지방 자치 단체인 말라(Mala)에서 진행중이고, 2개의 연구가 기존 원자력 시설이 있는 지방 자치 단체에서 진행되고 있다.

또한 이러한 연구를 위한 협의가 오스카샤(Oskarshamn)에 있는 중간 저장 시설 CLAB 지역에서 진행중인데, 연구 개시는 96년 가을로 예정되어 있다.

결국 스웨덴은 좋은 부지를 꼭 필요로 하지만, 그 목표는 안전한 부지를 찾는 것 뿐만 아니라, 다른 곳은 부적격하다는 확신이다. 또한 많은 선정 후보지에 대한 평가 과정은 공정해야 한다는 선택의 정치적 측면이 있다.

이러한 과정에서 얻은 경험으로는 법률상 원자력산업 측면에서 분명한 책임을 지는 것이 유리하다는 것이다.

또한 심층 처분장의 부지 선정은 주와 업계·관련 지방 자치 단체·주변 지방 자치 단체·주민·소관 관청 및 정부로부터 확고한 지지 없이는 될 수 없다는 것이 분명하다.

그러나 업계의 참여는 잘 조율되었다. 스웨덴에서는 산업계에 대한 1차적 책임을 변경하지 않고, 업계의 참여를 진전시키기 위한 조정 기능이 자리잡아 가고 있다.

결론

오늘날 많은 양의 사용후 연료는 세계 곳곳에서 원전 단지 내 저장되고

있다.

스웨덴의 경험에 따르면 장기간의 중간 저장 가능성은 전력 생산 뿐만 아니라 최종 처분을 위한 사업 진행을 용이하게 한다.

지난 20년 동안 광범위한 연구로 처분장의 설계와 부지 뿐만 아니라 장기 안전성 평가에 대한 지식을 얻게 되었다.

이는 OECD/NEA의 종합 의견에서 확인되었는데, 또한 심층 지질학적 처분은 월등한 안전 여유도를 가진 매우 적절한 최종 처분 방법이라고 결론짓고 있다.

이러한 처분은 매우 훌륭한 방안으로 차세대에 부담을 경감시키기 위해 실제적인 한 빨리 처분해야 하는 필요성과 신기술을 고려하고 향후 연료를 재사용할 수 있는 가능성을 조화시킬 수 있다.

오늘날 대부분의 국가의 주요 문제는 기술적이고 과학적인 문제가 아니라, 오히려 처분에 대한 태도와 의향에 연계된다.

스웨덴 국민의 대다수가 폐기물에 대한 책임을 지려고 자기네 지방에 처분되는 것을 좋아하는 사람은 거의 없다.

폐기물이 있기 때문에, 우리는 기술과 경제적 재원이 있는 한 최종 처분 문제를 차세대에 물려 주어서는 안된다. 이는 전기를 사용해 온 세대의 책임이기 때문이다. ☞