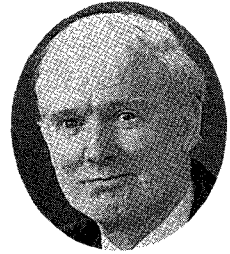


영국 방사성폐기물 관리현황과 계획



Brian Leonard Eyre
(영국 원자력기술청 청장)

1. 초 창 기

영국에서 원자력산업은 상당히 일찌기 등장했다. 1940년대말 Harwell에서 군사방어연구 및 1950년부터 Windscale에서 플루토늄생산 원자로 가동으로 출발하여, 최초의 발전용 원자로가 Calder Hall에서 1957년에 가동되었다. 초기에는 이렇게 흥미로운 새로운 에너지원의 개발과 관련된 모든 연구소들에서 신속한 개발, 건설 및 운영과 가속장치, 원자로, 연료처리공장에 역점을 두었다. 과학자 및 정부가 더욱 높은 환경보호기준을 목표로 삼아야만 하는 1991년의 전망으로 볼때, 그 당시는 상당한 양의 방사성폐기물이 후에 불분명한 방법으로 처리될 단순한 구덩이나 저장고에 놓였던 시대였다.

하지만 초기 선구자들의 무지를 비난하는 것은 잘못이다. 방사성물질에 섭취 또는 흡입하고, X-ray에 노출될 때 방사선학적 위험의 가능성은 충분히 인식하였었다.

강과 바다에 방출되어야만 했던 연료 재처리시 발생하는 고준위 액체폐기물과 대량의 폐수가 정확히 가장 중요한 두가지 위험요소로 생각됐

다. 이 두가지 문제분야에 대해 Harwell에서 1950년대에 연구가 이뤄져 기술적 해결책, 즉 고준위 폐기물을 유리고화하고 폐수를 침전정화시키는 FINGAL 방법을 만들어 냈다.

결국 산성용액을 저장하기 위한 냉각 스테인레스강 탱크의 이용이 안전하고 믿을만 하다고 판단됐기 때문에 고준위 폐기물의 유리고화는 30여년이 지난후에야 비로소 실행되었다.

1959년까지는 지표근처의 시설들이 방사성물질로 부터의 장기적인 방사능 위험이라는 견지에서 볼때 오늘날의 규제기준을 충족시키기 위한 것과 거의 다르지 않은 기술들을 사용하면서 Scotland의 Dounreay와 England의 Drigg에서 저준위 고체폐기물 처리를 위해 운영되었다. 1949년과 1983년 사이에 약 34TBq의 중준위 고체폐기물이 국내 및 국제적인 기관의 감시하에 북대서양 심해에 처리되었다. 비록 그러한 처리의 방사능적 영향은 자연방사능 양의 변화와 비교해 볼때 대단치는 않았지만 1983년에 중단되었으며, 앞으로 언젠가 대규모 폐로시 발생하는 폐기물의 처리를 위해서 재개될지도 모른다.

사용후연료 처리시 생기는 PIE 파편, 연료

요소 피복재 및 화학적 침전물 같은 보다 더 많은 중준위 폐기물들이 어떠한 처리도 없이 지상 저장소에 놓여졌다. 이러한 저장소들은 Windscale, Harwell, Dounreay에 건설되었으며, 나중에 세워진 것들은 이러한 초창기 저장소들을 운영하면서 배운 교훈들을 반영했다. 이러한 형태의 폐기물은 고준위 폐기물처럼 열을 발생시키지는 않지만 높은 기준의 격납 및 원격 취급장비를 필요로 한다. 게다가 이것은 폭넓은 여러가지의 화학적 변형을 유발하는데, 그중에는 저장중에 부식이나 분해반응을 하는 것도 있을 수 있다.

2. 총체적 시스템관리전략 개발

원자력발전소들은 영국 발전용량의 약 10%인 4,500MW의 시설용량을 갖고 있는 Magnox 기체냉각발전소와 함께 1975년까지는 전력산업의 안정된 일부이었다. 건설중인 차세대 개량형 기체냉각로와 개량된 설계의 고속로를 대상으로 영국환경오염위원회가 영국에서의 방사성폐기물 상태에 대해 철저한 조사에 착수했다. 1976년에 발간된 보고서의 주요 결론들은 다음과 같다.

- 불명확한 미래동안 오래도록 사라지지 않는 고준위 폐기물의 안전한 격리를 확실케 하는 방법이 있다고 증명될때까지 대규모의 원자력발전이 실행해서는 안된다.

- 원자력발전소에는 중준위 고체폐기물 처리에 대해 분명하게 공식화된 정책이 없다. 최종적으로 해양처리를 노리는 AEA와 BNFL 단지에 더욱 많은 방사성 고체폐기물을 쌓는 것은 부적당한 것 같다. 그러한 처리는 용인될 수 없으며, 장래의 요건들이 또다시 국가적인 처리시설의 필요를 시사할 수도 있다.

- 유리고화된 폐기물을 영구적으로 처리하는 적절한 두가지 선택권이 있다. 즉 육지와 해저 밑에 지질학적인 단층을 만드는 것이다. 그러나 이러한 방법중 그 어느 것도 실행가능한 선택으로 충분히 연구되거나 증명되지 않고 있다.

- 육지에서 지질학적인 단층으로 처리하는 분야에 영국의 상당한 노력이 있어야만 한다.

- 철저한 폐기물관리실행비용은 원자력으로 발전된 전기요금에 조금도 추가될 수 없을 것 같다.

- 폐기물관리전략 책임은 환경처 대신 국무대신에게 있어야만 한다. 핵폐기물관리자문위원회가 설립되어야만 한다.

- 핵폐기물 처리회사가 설립되어, 원자력단지에서 발생하는 모든 폐기물의 안전한 처리에 책임을 져야만 한다.

이 위원회 보고서는 영국에서의 모든 방사성 폐기물의 처리, 보관, 운송 및 처분을 위한 총체적인 시스템 계획을 수립하기 위한 새로운 전략적, 기술적 작업의 프로그램을 시작하는데 자극이 됐을 것이다.

2.1 규제기준

국제방사선방어위원회(ICRP)가 1977년 수용가능한 개인적 위험을 기초로한 방사능 선량과 집적선량에 대한 규제의 윤곽을 만들었다. 이에 따라 영국에서의 방사성폐기물 처리에 관해 규제당국이 1984년 방사성폐기물 저장소 운영 승인기준 지침서를 발간했다. 개인이 방사능 노출로 사망하는 최대 위험치를 연간 10^{-6} 으로 목표를 설정한 이 지침서는 저장소 위험평가 방법론 개발의 중요한 근거였다.

이 목표에는 폐기물 형태나 저장소의 설계, 저장소에서의 단편적인 방사성 핵종 방출률도 규정하지 않았을 뿐 아니라, 위험대상의 적부성에 대한 기한도 없다는 두가지 문제에 주목해야 한다. 이 규제기준이 명백히 암시하고 있는 것은 방사성폐기물의 지하저장은 그것의 위치 및 내용에 관한 좋은 기록이 있다고 여겨질지도 모를 2~3백여년동안 무조건적으로 아주 안전해야만 한다는 것이다. 이것은 전략을 발전시키는데 중요한 영향을 미쳤다.

2.2 정부 정책

이 위원회의 주요 결정들을 승인했던 영국환경청이 1977년 방사성폐기물 관리에 관한 정부

정책의 주요 목표들을 제정했다. 이것을 요약하면 다음과 같다.

- 결과적으로 조인 조사량이 가급적 낮도록 “가장 실행가능한 방법”으로 액체폐기물 방출을 저감

- 고체폐기물 발생량의 최소화

- Drigg에서 저준위 폐기물의 지속적인 안전처리

- 안전한 중간저장을 위한 중준위 폐기물 처리

- 중준위 폐기물이 가능한한 빨리 처리될 수 있도록 국내 심층저장소 건설

- 열출력이 감소될 수 있도록 최소한 50년동안 고준위폐기물의 유리고화 및 유리블록 저장

이러한 정책은 몇가지가 추가되어 1982년과 1986년에 재발표됐다. 반감기와 상관없이 모든 중준위 폐기물은 심층저장소에서 처리할거라고 1986년에 정해진 사업이 그 정책중 하나이다. 즉 이것은 본래 중준위 폐기물을 관리함에 있어 있을지도 모를 위험에 대한 대중의 인식을 정치적으로 판단한 것이다.

영국에서 사용중인 방사성폐기물의 종류를 정의하면 다음과 같다.

고준위 폐기물(HLW)

사용후연료나 사용후연료 재처리시 발생하는 1차 폐기물 유출로서, 저장중의 열발생물을 다루기 위해 전문적인 측정이 필요함.

중준위 폐기물(ILW)

고준위 폐기물은 아니지만 $4\text{GBq/te } \alpha$ 또는 $12\text{GBq/te } \beta$ 방사능을 초과하는 고체폐기물.

저준위 폐기물(LLW)

중준위 이하지만 0.4MBq/te 보다 큰 비방사성의 고체폐기물.

초저준위 폐기물(VLLW)

낮은 비방사능을 갖는 다른 고체 방사성폐기물은 저장 및 처리운영에 관한 규제관리에서 제외된다.

2.3 원자력산업계의 대응

이 위원회의 결정에 관한 발표와 잇따른 정부정책 발표에 뒤이어 영국 원자력산업계가 모

든 핵폐기물 관리실행을 새로운 시각으로 바라보게 되었다. 다음 14년동안 실행된 연구개발 범위, 자본투자, 조직적인 창의가 영국을 방사성폐기물 관리기술 및 산업상의 실천에 있어 주도적인 국가로 자리잡게 했다.

이러한 창의성의 주요요인들은 현대적인 폐기물관리산업에 필요한 일종의 접근방법을 포함하고 있기 때문에 이것을 논할만 하다. 실로 원자력산업의 접근방법은 노후된 기존 산업들의 폐기물관리 실행 개발의 모델이 되야만 한다는 것이 이제 명백해지고 있다.

기본철학과 관련 연구개발

2.3.1. 폐기물의 최소화

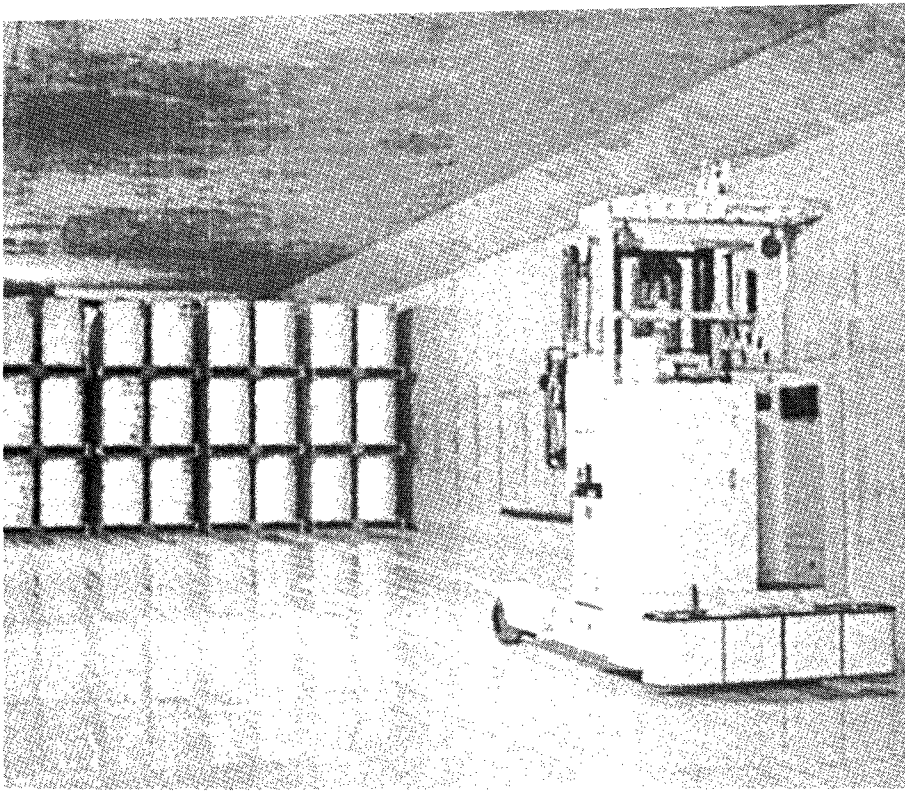
생성된 방사성 폐기물량의 최소화는 정부정책의 일환일 뿐 아니라 폐기물 포장, 저장 및 처리에 드는 고액의 비용에 직면하고 있는 폐기물 발생자들에게도 명백하고 좋은 의미를 갖는다.

영국에서는 Magnox원자로에서 고연소 고출력의 개량형 기체냉각로로의 전환이 폐기물 재처리량을 상당히 감소시켰다. 더우기 가압수형 원자로로의 전환은 폐기물량을 더욱 감소시킬 것이다. 이러한 원자로 건설의 근본적인 변화 이외에도 폐기물량을 줄이는 새로운 기술이 비용에 효과적이라고 평가되고 있다.

예를 들어 저준위 고체폐기물의 초소형화는 영국 원자력청(UKAEA) Dounreay단지에서 3~10의 감용계수를 현재 제공하고 있다. 우리는 원자로 조사실험시 생기는 연료요소 피복재와 금속 조각들과 같은 중준위 폐기물들을 초소형화하는 작업을 하고 있다.

폐기물량을 감소할 필요가 우리의 운영상의 실행을 바꾸는 또다른 분야는 플루토늄에 오염된 물질을 운반하기 위해 플라스틱 자루에 넣는 기술의 이용이 상당히 줄어든 것이다. 여러 종류의 이중뚜껑이 있는 기계적 운반도구의 도입은 플루토늄에 오염된 플라스틱 폐기물의 발생을 감소시켰다.

UKAEA와 영국핵연료공사(BNFL)는 여과 기술을 액체폐기물에서 방사능을 제거하는데 도입했다. 이것은 정화공장에서 생기는 다량의



침전물과 진흙을 감소시킬 뿐만 아니라 종래의 침전물 생성공장보다 훨씬 더 높은 제염요인들을 제공한다.

AEA Harwell 실험실 연구가 원형의 단면과 방사상의 기류를 가지고 있으면서 통상적으로 사용되는 공기정화기보다 훨씬 작고 처리하기 쉬우며 서비스에 있어서도 훨씬 더 믿을만한 공기정화기(HEPA)에서의 고효율 미립자의 한계를 제시했다.

2.3.2 저준위 폐기물

저준위 폐기물의 처리를 위해 UKAEA가 1950년대말에 Drigg 지표저장소를 설치했다. 이것은 30여년동안 안전하게 가동됐으며 이제는 약 700,000입방미터의 고체 저준위 폐기물을 갖고 있다. 비록 이 저장소의 기술작업이 거정할만한 원인을 일으키고 있지는 않지만, 현재의 소유주이자 운영자인 BNFL은 1986년 이래로 지하저장실 및 저준위 폐기물 포장에 관한 새 기준을 도입하고 있다. 이것은 Drigg 난지의 안전한 장기적 용량을 증대시키는 이점을 가지고 있을 뿐만 아니라 초기의 충전방법보다 훨씬 더 수용할만한 시각적 영향력을 제시한다.

2.3.3 중준위 폐기물

영국위원회보고서가 발간된 이래로 영국에서 대부분의 진보가 이루어진 것은 중준위 폐기물(ILW)의 포장, 저장 및 처리분야에서 이다. 그 이유를 생각해 보는 것은 어렵지 않다. 고준위 폐기물(HLW)정책은 이미 명백했으나 그 양이 적었기 때문에 이 물질은 단기적인 문제를 제시하지 못했다.

BNFL은 수명이 50년 이상이 되는 관련 수동적 저장소와 함께 Sellafield에 유리고화공장 건설에 착수했다. 반면에 중준위 폐기물은 원자력발전소 부지에 여러 형태로 쌓이고 있었다. 원자력산업계는 이러한 물질들이 안전하게 신뢰할 수 있는 포장으로 저장되어 가능한한 빨리 처리해야 한다는 것을 규제기관들에게 납득시켜야만 했다.

중준위 폐기물을 심층지하저장소에 저장시키는 것을 진보시키기 위해 Nirex(원자력산업 방사성폐기물위원회)가 1982년에 설립되어 부지 선정 및 저장소 건설업무를 맡았다. 현재는 UK Nirex Ltd.인 Nirex와 원자력산업계는 그 이후 두개의 주요분야에서 커다란 진보를 하였다.

◦ 저장 및 처리를 위한 중준위 폐기물의 포장

◦ 심층지하저장소의 설계 및 안전성 평가

중준위 폐기물 포장

방사성폐기물의 지상중간저장을 위해서는 다음과 같은 중요한 요인들이 있다.

◦ 폐기물은 화재위험이 없거나 저장소에서 유해한 액체나 기체 물질이 방출되지 않는 안정한 화학적 형태라는 보장.

◦ 저장되는 크기의 최소화.

◦ 포장된 폐기물의 방사능 함유량의 평가 및 기록.

◦ 이후 50년까지 처리단지의 복구 및 운송 적합성.

50년이란 숫자는 공식적으로 2005년에 실행될 Nirex의 심층지하저장소를 위해 계획된 부지선정 및 건설시기에 넉넉한 여유를 두기 위해 선정했다.

지상저장요건을 건의하기 위해 UKAEA, BNFL 그리고 CEGB가 중준위 폐기물의 침전물, 수지, 껍질, 플라스틱 등을 완전히 통제된 블록으로 포장하는데 사용할 분해되기 어려운 여러가지의 가능한 모든 물질에 관한 연구를 수행했다.

아스팔트, 폴리에스테르수지 및 시멘트처리 방법이 개발되어 만족할만하다고 생각되었지만, 지하처리요건과 관계된 이유로 시멘트가 선택됐다. 저장중인 폐기물의 격납을 위해 두가지의 주요 개발방침이 뒤따랐다.

일반적으로 용량이 500ℓ인 스테인레스강 드럼은 유효한 중준위 폐기물 용기로 선호되었지만, 페로시 발생되는 조각같이 부피가 큰 폐기물들을 위해서 더 큰 스테인레스강이나 콘크리트박스가 설계 및 시험되었다.

심층지하처리를 하려면 폐기물 포장은 어떤 유해한 양의 방사성물질도 앞으로 언제 어느때라도 생물권으로 방출되지 않을 것이라는 확신을 주기 위해 고안된 “다중방벽” 시스템의 일부로 간주되어야만 한다.

주요한 연구개발 노력이 이러한 폐기물 포장 설계 문제에 대해 이뤄진 결과, 이제 우리는 아

주 엄격한 규제기준을 충족시키는 여러가지 형태의 중준위 폐기물을 처리 및 포장할 수 있다고 확신한다.

저장소 설계

영국에서 Nirex 심층저장소의 기초가 되는 개념은 극소 수준의 부주의한 관입이 생길 위험을 줄이기 위해 300m 이상의 깊이에서 그 단지가 물로 포화될 것이라는 것이다.

폐기물 방사성 핵종이 인간에게 이르는 유일한 중요 경로가 지하수에 의한 생물권으로의 이동이기 때문에 부지선정의 가장 중요한 기준은 지상에 도달하는데 10,000년 이상의 지체시간을 제공하는 지하수의 흐름이 아주 적은 곳이어야만 한다고 결론지어졌다.

Nirex는 이제 잠재적으로 승인가능한 지역들을 확인하기 위한 수지질학적 기록들을 조사하는데 상당한 경험이 있다. 인구, 토지이용, 토지 소유권, 무기물 조사, 지질학적 안정성 및 지리학상의 위치고려와 결부된 이러한 지식으로 Nirex는 탐사굴착 계획을 지도하는 논리적인 부지선정방법론을 제시할 수 있었다.

인간에 대한 궁극적인 방사능 위험은 부지선정에만 있는 것은 아니다. 이 분야에서 연구하고 있는 대부분의 국가들처럼 비록 개개의 방벽들이 오랫동안 작용을 할지는 불확실하지만, 방사성 핵종 오염에 대해 “다중방벽” 연구법이 규제기준을 충족시키는 최고의 보증을 제공한다고 생각한다.

UKAEA, BNFL, Nirex 및 규제당국에 의한 연구가 생물권으로의 방출이 합리적으로 획득될 수 있는 한 낮게끔 보증하기 위해 폐기물 포장사양서 및 저장소 설계작업에 현재 사용되고 있는 방벽의 작용에 대해 좋은 인식을 확립시켰다. 이러한 작업에서 생긴 더욱 중요한 특징들은 다음과 같다.*

◦ 중준위 폐기물 용기내의 시멘트 매트릭스와 용기주위의 시멘트 충전재가 폐기물내에서 그리고 저장소 전체에 걸쳐 알카리 화학작용을 한다. 이것은 많은 종류의 액티나이드 핵종과 핵분열생성물, 방사화 생성요소들의 가용성을 제한시키는데 유익하며 그러한 요소들의 소스

탐을 제한하는 유효한 방법이다. 알카리 화학 작용은 강철 용기의 부식률도 감소시킨다.

◦ 저장소내의 금속, 주로 철의 함량은 저장소 폐쇄후 있을지도모를 폐기물 포장품과 접촉한 지하수가 산소를 실제로 감소시킨다는 것을 보증한다. 이것 역시 넵투늄(Np)과 테크네튬(Tc)같은 요소들의 가용성과 용기부식률을 줄이는데 유익하다.

◦ 지하수 흐름이 아주 약한 저장소 부지를 선택함으로써 알카리를 줄이는 화학작용이 수십만년동안 저장소내에서 지속될 것이다.

◦ 게다가 저장소의 암반 및 충전재 표면에서의 방사성 핵종의 흡착작용이 아직 가용성을 제한받지 않은 핵종의 용해농도를 줄여준다.

◦ 저장소로 선택된 부지의 자연암반구조의 3차원적인 지하수 이동형태를 수학적으로 모형을 만들 수 있다. 기류, 확산, 분산과정이 고려되며 결과의 정확도는 암반의 투과성과 균열분포에 대한 세부적인 지식의 정도에 따라 좌우된다.

◦ 현장과 떨어진 곳에 있는 암반표면에서의 방사성핵종의 흡착작용은 지하수와 비례하여 10,000개에 달하는 요인이 그러한 핵종을 지연시키는 아주 중요한 현상이다.

◦ 아주 오랜 기간후에 방출된다고 보는 극소량의 방사성 핵종이 생물권으로 분산되는 것을 기존의 방법론을 이용하여 모형으로 만들 수 있다.

이러한 시리즈의 “방벽들”의 시스템 효과를 평가하기 위한 수학적 모형제작 기술응용에 대해 영국과 기타 OECD 국가들은 현재 상당한 경험이 있다.

이 분야에서의 대부분의 연구노력은 이러한 저장소 안정도 평가모형을 이용하기 위해 데이터의 측정 및 수집을 시작했다. 좀더 중요한 보기들 중에는 다음과 같은 것도 있다.

◦ 알카리가 감소하는 조건하에 지하수속에서 탄소강과 스테인레스강의 부식률 측정.

◦ 지하수 속에서의 평형상태, 핵분열생성물, 악티나이드 핵종 및 방사화 생성물, 방사성 핵종의 가용성들을 계산할 수 있는 열역학적

자료의 수집.

◦ 충전재와 암반표면에서의 방사성 핵종 흡착률의 측정.

◦ 실험실 및 현장에서 상당히 멀리 떨어진 두곳에서 암반 수압 전도성 측정.

이 연구는 끝나지 않았다. UK Nirex Ltd.가 현재 예를 들면 콜로이드모양의 핵종이 원자이동률에 끼칠지도 모를 영향을 조사하고 있으며, 현재 어떤 폐기물속에 있는 유기물에서의 감성과정의 화학작용 및 생화학 작용에 대한 주요계획이 있다.

2.4 영국의 전망

2.4.1 저준위 폐기물

Drigg의 지표 저준위 폐기물 저장소는 이미 처리된 0.6M³ 외에도 약 1M³의 미래용량을 가지고 있다. Drigg는 약 110헥타르의 거대한 단지인데 그중 3분의 1만이 현재 저준위 폐기물 처리허가를 받았다.

따라서 약 2Mm³의 추가용량을 위한 가능한 영역이 있다. 현재 영국에서의 저준위 폐기물 발생률은 연간 약 40,000m³인데, Drigg단지에는 다음 세기까지 충분할 것이다. 초압축에 의한 폐기물의 소형화와 발생량 저감을 위한 노력을 하면 연간 폐기물 발생률이 당연히 줄어들 것이다. 3년마다 인허가를 받는 Drigg의 승인은 저준위 폐기물의 정의속에 본래 가지고 있는 일반적인 비방사능 이외에도 오래동안 사라지지 않거나 이동성이 있는 방사성 핵종에 대해 매년 방사능 측정 한계를 두고 있다.

그래서 우라늄, 토륨, 라듐, 탄소-14, 요드-129 및 트리튬을 함유하고 있는 저준위 폐기물은 Nirex 심층저장소에 최후처리를 위해 저장될 수도 있다. 지하수의 이동이나 인간의 침입 혹은 기체물의 방출에 의해서 앞으로 언젠가 규제위험목표가 초과되지 않는다는 확신을 가지고 있는지 의문스럽다.

BNFL은 여과율과 기체작용에 관한 수년간의 기계적 관찰에 의해서 Drigg단지지질에 대해 잘 알고있다.

초창기의 Drigg 운영과 비교해 볼때 저준위

폐기물 관리상의 가장 중요한 변화는 폐기물 수거, 감시, 포장 및 정치를 위한 품질보증기술의 엄격한 적용이다. 이것은 BNFL의 새로운 관리시스템의 설계 및 실행 뿐만 아니라 저준위 폐기물 포장공장에 감도가 좋은 방사능 감시장비 설치를 요구하고 있다.

2.4.2 중준위 폐기물

Nirex는 심층지하에 있는 그들의 저장소로 운반하기 위한 요건을 충족시키는 폐기물 포장 사양과 장기적인 안전을 위한 “다중방벽” 개념에 따른 운용에 관한 원칙들을 개발했다. 폐기물 발생자들이 그들의 부지에 현재 저장중인 약 150,000m³의 가공하지 않은 중준위 폐기물을 포장하기 시작할 수 있도록 주로 500ℓ 강철드럼 및 3m³과 12m³ 용적의 강철이나 콘크리트 박스에 기준을 둔 수많은 승인 가능한 중준위 폐기물 처리포장이 현재 지정되고 있다.

가동 예정인 최초의 시멘트 고화공장은 원상태 그대로 다년간 저장됐을 때 봉쇄의 어려움이 다소 있었던 작업상의 중준위 폐기유출물을 포장하기 위한 것이다. 1990년에 BNFL은 그들의 EP1 시멘트고화공장과 관련 저장소에게 Magnox 연료요소 피복재를 포장을 하도록 의뢰했으며, 또한 시멘트고화공장들은 THORP 산화물 재처리공장과 Sellafield 폐기물정화시스템에서 나오는 고흡물과 침전물들을 포장하기 위해 Sellafield에 건설중이었다. UKAEA가 Dounreay의 Winfrith에 유사한 임무를 위해 시멘트 고화공장을 건설했다.

중준위 폐기물 포장공장의 제품들은 2005년 후의 처리를 위해 Nirex 저장소로 갈 수 있을 때까지 적절하게 장비를 갖춘 지상창고에 저장될 것이다.

2.4.3 고준위 폐기물

BNFL은 1990년 말경에 Sellafield에서 고준위 폐기물 유리고화공장의 가동을 개시했다. 이것은 Magnox와 THORP 재처리공장 두곳에서의 새로운 부산물을 처리하는 외에 Magnox 재처리 계획에서 발생하는 약 1,300m³의 농축된 고준위 폐기물 액체를 유리고화하는 작업에 종사하게 될 것이다. 일단 유리화되면 폐

기물은 최소한 50년동안 스테인레스강 용기속에 있어야 할 부근의 창고로 이송된다. 그 창고는 열을 없애기 위해 자연적인 공기의 대류를 이용하도록 설계되었는데 그 열은 처음에는 400kg의 유리블록당 약 2kW 비율로 발생된다.

2.4.4 Nirex

지표에서 500m 이상 아래에 있는 저장소에서 중준위 폐기물을 안전하게 처리하는데 기초가 되는 기술은 이제 확립되었다. 유기물의 작용과 콜로이드의 있을지도 모를 역할에 관한 것 같은 의문사항은 이제 더이상 없다. 앞으로 해야할 주요한 일은 부지선정 및 부지 특성 기술분야이다.

심층 저장소의 부지계획 및 운영에 관한 포괄적인 공개토론문서가 1987년 11월에 발간된데 이어 Nirex는 체계적인 부지선정절차를 완성했는데, 1989년 3월에 결국 두 부지, 즉 Dounreay와 Sellafield에 한해서만 조사를 한다고 발표를 했다. 이것은 500m 깊이에 혹시 적당히 단단한 암층이 있을지도 모를 부지들이며, 주요한 원자력 허가부지가 생김으로 해서 얻는 장점들도 있다.

Nirex는 하나의 부지를 선정하고 나서 1992년말경에 세부적인 부지특성기술을 위해 계획신청을 할 예정이며, 그것이 만족스러우면 심층저장소의 건설 및 운영을 할 계획이다. Drigg에 들어가지 못한 모든 중준위 폐기물과 저준위 폐기물을 위해 50년의 용량을 갖게 될 이 저장소의 가동목표년도는 2005년이다.

2.4.5 폐기물 방출

영국 현지에서의 방사성물질의 액체 및 기체 방출은 방사능 조사량이 합리적으로 획득될수 있는 한 낮게끔(ALARA) 유지시키기 위해 최고의 실행가능한 방법(BPM)이 사용되고 있다는 것을 보증토록 규제기관들이 정기적으로 조사하고 있다. 모든 방출물들은 이미 인가된 한도이내이며, 그것은 곧 조사량이 0.5mSv/y 이하라는 것을 의미하지만, 예를 들어 BPM 방법의 적용은 UKAEA 부지에서 새로운 미립자재거 여과기가 더이상의 방출을 줄이기 위해

설치된다는 것을 뜻한다.

폐기물처리기술의 가장 인상적인 보기는 Sellafield에 있는 BNFL 배관에서의 방출물 감소이다. 악티나이드를 제거하기 위한 침전물 처리 및 여과와 함께 세슘과 스트론튬 제거를 위한 무기이온교환 이용이다.

3. 우리는 무엇을 배웠는가?

3.1 당신의 폐기물 인벤토리를 알라

방사성폐기물 포장 및 처리기술이 진보됨에 따라 폐기물의 물리적, 화학적, 방사능적 특성에 대해 상당히 구체적으로 아는 것이 중요하다는 것이 명백해지고 있다. 영국에서는 Nirex 와 정부가 현재 공동으로 재고량, 저장품의 방사능 및 물리-화학적 특성과 방사성폐기물의 예상부산물들에 관한 연간 물품명세서를 발행하고 있다. 이러한 자료의 신뢰성은 물론 폐기물 발생자들이 직접 가져온 것이지만 꾸준히 개선되고 있다.

처리를 위한 포장전후의 폐기물량은 처리공장, 창고 및 저장소의 설계에 필요한 입력사항이다. 방사성 핵종 함량의 평가, 특히 폐기물처리공장(높은 γ 방출, 휘발성) 및 저장소 성능(오랜 반감기, 용해되기 쉽고 유독한)에 가장 어려운 난제로 나타나는 방사성 핵종의 평가는 안전성 평가 및 공장 설계에 필요하다.

화학성분을 알음으로써 문재의 방사성 핵종이 폐기물의 안정성분에 의해 동위원소적으로 약해지는 상황에서 가용성을 측정할 수 있게 된다. 유기물 함유량이 중요한 악티나이드 핵종의 장기적 가용성과 수차측정 및 기체생성에 영향을 미칠 수도 있다. 철과 알루미늄 함유량은 결국에는 저장소에서 발생될 수소가스량을 측정한다.

3.2 폐기물 측정, 포장 및 저장을 위한 공장의 설계

시멘트 매트릭스 추가 전후에 폐기물 드럼이나 박스속의 방사성핵종 함유량의 측정은 악티나이드의 중성자 측정과 및 중성자 질문에 근

거한 새로운 감도가 높은 기술의 개발을 필요로 했다.

가장 어려운 난제는 200ℓ 드럼당 약 4mg ^{239}Pu 에 상당하는 저준위 폐기물의 상한선으로 명시된 4GBq/te α 이하에서 농축상태의 우라늄과 플루토늄 핵종을 측정하는 것이다. Harwell에서 정상적인 중성자의 튜브소스에 대한 대안으로서 중성자의 강력한 근원을 생성키 위해 양자가속기가 사용되어 감도에 있어 개선점을 얻었다.

고체형태의 중준위 방사성폐기물을 완전히 밀봉된 시멘트 충전의 드럼이나 박스속에 포장하는데에는 어떤 새로운 기술도 필요하지 않다. 그러나 이것들은 매우 값비싼 원격가동 공장이 될 수 있다. UKAEA와 BNFL은 현재 그러한 공장의 설계경험이 있으며, 현재 행해지고 있는 가장 중요한 작업가운데는 그러한 공장들의 요건을 최소화하는 목표를 가지고 수많은 여러 형태의 중준위 폐기물을 처리하는 선택적 방법들의 평가와 관계있는 것도 있다.

마찬가지로 폐기물 드럼과 박스들을 원격조종할 필요가 생겨서 결국 여러 개의 상이한 설계들을 비교하게 됐다. 이러한 창고들의 자본금을 중준위 폐기물의 γ 방출수준에 따라 약 £3,000/m³에서 £30,000/m³ 사이로 다양했다. 고준위 폐기물에 필요한 특별창고는 물론 아직도 대단히 비싸다.

3.3 운송요건인식

저준위과 중준위의 방사성폐기물의 운송은 매우 위험이 낮은 활동이다. 왜냐 하면 그것은 어떤 액체나 폭발성 물질을 포함하고 있지 않으며 비방사능이란 고준위 폐기물이나 사용후 연료보다 최소한 100배수가 낮은 요인이 있을 뿐이었기 때문이다.

그러나 이것은 허가된 원자력단지의 외부에서 발생하는 작업이기 때문에 민감한 작업이다. 대부분의 다른 나라들과 마찬가지로 영국에서는 규제법률이 국제원자력기구에서 발행한 가이드라인에 근거하고 있다. 그 지침서에 사용된 정의에 의하면 중준위 폐기물과 저준위

폐기물은 “B급 포장”이나 “산업용 포장”으로 운송된다.

방사성폐기물 처리기관은 국내에 있는 모든 폐기물 발생자들에게 도움이 되는 일련의 표준 운송포장 설계를 지정할 수 있는 좋은 위치에 있다. 이것은 설계, 시험 및 운영허가 획득비용을 최소화할 뿐 아니라, 저장소의 접수시설이 소량의 일정한 크기 및 취급 특성을 지닌 표준 포장물들만 접수하기 위해 최대한으로 활용될 수 있다. 예를 들어, Nirex는 500ℓ 드럼 4개 또는 3m³박스 한개를 운반하기 위해 중준위 폐기물용 B급 운송컨테이너를 고안했다. 더 낮은 비방사능의 중준위 폐기물에 대해서는 일회용 12m³의 산업용 포장이 있다. 저준위 폐기물은 ISO 차원의 200ℓ 드럼이나 6m³ 또는 12m³ 박스로 운송된다. 운송포장물에 대한 충격테스트와 화재테스트는 UKAEA에 있는 시설을 이용할 수 있다.

3.4. 저장소 설계

부주의한 관입위험을 제거하기 위해 지하수의 흐름이 아주 약하고 깊이가 300m 이상인 지질학적 지역에 세워진 심층저장소의 기본개념에서 출발하여 저장소 구조의 실제적인 설계에 역할을 하는 요인이 대단히 많다.

모암의 지구물리학적 특성들이 지하저장실이나 터널의 모양, 크기, 범위를 결정한다. 통로는 지역적인 지리에 따라 곧바로 수직통로나 터널을 이용할 수도 있다. 설계자에게 중요한 요점은 통과하는 지하수가 아주 약한 상태여야 하며, 통로를 막거나, 지하수를 지상으로 이동시키는 단층이나 균열의 교차점 또는 굴착된 지하저장실위의 받쳐지지 않은 암반덩어리의 결과적인 이완으로 인해 지하수의 흐름이 증대되지 않도록 확실하게 하는 것이다. 모암이 점토이건 단단한 결정체 화강암이건간에 이러한 모든 잠재적인 문제에는 해결책이 있다.

발생할지도 모를 지진운동에 대한 영향들이 특정 단지 지역에 대해 평가되어야만 한다. 이것들은 일반적으로 Nirex저장소의 깊이에서는 중요하지 않다고 생각된다.

상당한 개발작업이 필요한 또다른 분야는 수천년동안 저장소내에서 고도의 알카리 화학작용 조건을 지속시키기 위한 충전재의 내역이다. Nirex는 그들의 시멘트 충전물이 이것을 해낼거라고 확신하고 있다.

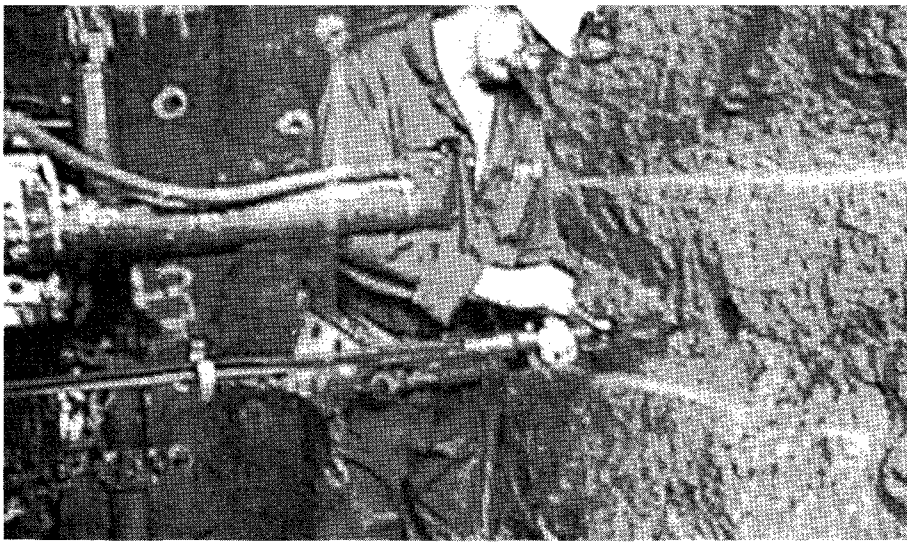
폐기물 포장설계에 있어 용기의 건전성이 유지될 수 있도록 방사성 분해물 배출, 부식 및 핵반응 기체에 특별한 주의를 기울여왔다. 결국 폐기물 용기의 부식수명은 세슘, 스트론튬, 트리튬 등 용해가능한 방사성핵종이 낮은 수준으로 붕괴될때까지 폐기물 자체에 일반적인 지하수의 접근을 제한함으로써 설계될 수 있다.

좀더 구체적인 수준에서 Nirex는 저장소에 보호되지 않은 폐기물 포장들을 배치하고 저장소 조건하에서 오랜 내구력을 가지는 식별코드를 모든 포장에 표시하기 위해 원격조정 기술의 고안이 필요하다는 것을 알았다.

3.5 폐기물관리의 전략적 평가의 이용

UKAEA 및 BNFL은 영국내에 많은 원자력 단지들을 가지고 있으며 폭넓은 범위의 중준위 폐기물과 저준위 폐기물을 발생시키고 있다. 일반적으로 저준위 폐기물이 생성됐을때 처리하는 것과 Nirex저장소가 작동될때까지 쉽고 안전하게 저장할 수 있는 안전한 고체 형태로 중준위 폐기물을 처리하는 것이 우리의 방침이다. 중준위 폐기물의 처리와 포장공장의 비싼 비용 때문에 수많은 출처에서 생긴 유사한 폐기물들을 고부하율로 가동되는 단일 공장을 통해 발송하면 비용상에 이익이 있을때도 있다. 할인된 시스템의 전체비용을 최소화하는 것이 목표라면 포장된 형태를 보관함에 있어 유지 및 감시비가 일반적으로 가장 낮다고 가정할때가 공장 건설을 위한 최적시기가 되기도 한다. 폐기물 저장비용의 평가는 저장소를 보다 일찍 혹은 늦게 가동시킬때 총비용에 끼치는 영향도 나타낸다.

이러한 평가들은 항상 이율, 자본금, 운영비, 안전성 요건에 민감하다. 정부정책의 요건들과 나란히 볼때 이러한 평가들은 유용한 도움이 될 수 있다.



3.6 흥 보

원자력 프로그램을 가지고 있는 대부분의 국가들에서 처럼 영국에서도 값싸고 깨끗한 에너지원으로서 원자력에너지에 대한 정부 및 국민의 초기의 열광 뒤에는 어느 정도의 각성이 뒤따랐음을 알고 있다. 원자로의 안전성 및 전기료와 나란히 방사성폐기물관리는 원자력산업이 그 사실들을 전달하지 못했던 중요한 분야중의 하나이다.

1976년 영국위원회보고서는 원자력산업으로 하여금 방사성폐기물 관리사실 뿐만 아니라 그것을 인식한 모습을 보이게끔 하는데 효과적이었지만 초창기의 대중의 신뢰를 되찾기는 매우 어렵다는 것을 알게 됐다. 예상했던대로 이것은 특히 폐기물저장소 부지선정을 하게 되었을때 분명해졌다.

그 계획의 시초부터 강제적인 구매력이 없었던 Nirex는 토지소유주들과의 협정에 의해서만 일에 착수할 수 있다는 것을 알았다. 이러한 이유 때문에 중앙정부나 Nirex 참여 업체의 관할하에 있거나 개인 소유자가 제공한 부지를 조사하는 것이 실제적으로 유리하다고 결정했다.

지질, 계획요인, 인구, 운송비 등의 고려와 결부시켜 이러한 결정을 함으로 해서 Nirex는 처음에 약 500곳의 가능부지를 현재 조사중에 있는 두곳, 즉 Dounreay와 Sellafield로 축소할 수 있었다. 작업을 시작하기 전에 이러한 모든 절차를 지방당국, 정치가들, 압력단체 및 수많은 지역기관들에게 공개적으로 설명하였으며 접수된 반응들에 주목했다.

4. 국제적 연계

방사성폐기물의 안전하고 책임있는 관리는 증가하는 원자력 사용에 대한 승인을 얻는데 주요요인이다. 세계적인 원자력산업은 가장 높은 기준에 맞게끔 필요한 운영을 수행할 기술을 갖고 있다고 증명하는 것이 필요하다.

방사성폐기물 관리는 계획문제와 국민대표자들 및 정치인들과의 상호적인 교제의 필요성에 대한 민감한 인식과 함께 일종의 기술적 능력을 필요로 한다. 오늘날 영국에는 원자력산업, 정부 및 규제기관들이 신중하게 개발한 종합적인 전략을 기초로 하여 이 문제에 있어서는 근거가 충분한 기술이 있다.

대규모적인 폐기물 처리, 포장, 저장 및 처리 작업이 이제는 많은 국가에서 실현되고 있어 설계, 비용 및 홍보문제에 관한 실제 경험을 이용할 수 있다. 영국에서는 이러한 경험이 UKAEA, BNFL, Nirex, 정부부처에 있으며 개인적인 처리공장 및 용역 공급업체들에게도 이러한 경험이 점점 더 늘어나고 있다.

이것은 비밀로 할 필요가 없는 문제의 분야이므로 다년간 귀중한 국제적인 교류가 있어왔다. IAEA, NEA와 CEC 모두 공동연구 장려 및 촉진에 매우 적극적이다. 영국의 경험은 다른 국가들 특히 방사성폐기물 관리능력을 개발하는 초기단계에 있는 국가들에게 이용가능하다.