

## National Policy and Status on Management of Spent Nuclear Fuel

### 사용후핵연료 관리 정책과 국제 동향

Won-Jae Park

Korea Institute of Nuclear Safety, POB 114, Yuseong, Daejeon, Korea

[parkwj@kins.re.kr](mailto:parkwj@kins.re.kr)

박원재

한국원자력안전기술원, 대전시 유성구 구성동 19번지

(Received July 7, 2006 / Approved August 17, 2006)

#### Abstract

At the end of 2005, 443 nuclear reactors were operating in 32 countries worldwide. They had provided about 3,000 TWh, which was just over 16 percent of global electricity supply. With the generating capacity of 368 GWe in 2004, the spent fuel generation rate worldwide, now becomes at about 11,000 tHM/y. Projections indicate that cumulative amounts to be generated by the year 2020, the time when most of the existing NPP will be closed to the end of their licensed lifetime, may be close to 445,000 tHM.

In this regard, spent fuel management is a common issue in all countries with nuclear reactors. Whatever their national policy and/or strategy is selected for the backend of the nuclear fuel cycle, the management of spent fuel will contribute an impending and imminent issues to be resolved in the foreseeable future.

The 2nd Review Meeting of the Contracting Parties to the Joint Convention was held in Vienna from 15 to 24 May 2006. The meeting gave an opportunity to exchange information on the national policy and strategy of spent fuel management of the Contracting Parties, to discuss their situations, prospects and the major factors influencing the national policies in this field and to identify the most important directions that national efforts and international co-operation in this area should be taken.

In this paper, an overview of national and global trends of spent fuel management is discussed. In addition, some directions are identified and recent activities of each Member States in the subject area are summarized.

---

**Key words:** spent nuclear fuel, direct disposal, reprocessing, long-term storage, global safety regime

요 약

2005년말 현재, 전세계 32개국에서 443기의 원자력발전소가 운영되고 있다. 현재 전체발전량은 약 3,000 TWh이며 전세계 전력공급의 약 16 퍼센트를 차지하고 있다. 2004년말 사용후핵연료는 전세계 원전의 발전용량 368 GWe에서 매년 11,000 tHM 정도 발생되고 있으며 현재 운영 중인 대부분의 원전이 가동정지가 예상되는 2020년에는 445,000 tHM 까지 예상되고 있다. 이러한 관점에서, 사용후핵연료 관리는 전체 IAEA 회원국에게는 그들이 취하고 있는 후행핵연료주기 정책과 전략에 관계없이 국제협력 등을 통해 가까운 장래에 시급히 그리고 반드시 해결해야 할 필수 사안임이 분명하다. 지난 2006년 5월 15일부터 2주간 제2차 방사성폐기물안전협약 체결국회의가 오스트리아 IAEA본부에서 개최되었다. 동 회의에서 사용후핵연료에 대한 국가 정책 및 전략, 그리고 그들의 현황, 향후 전망, 정책에 일차적으로 고려한 인자와 이행내용 등이 심층 논의되었으며, 향후 개별 국가의 노력 및 국제협력의 방향 등이 확인되었다. 본 논문에서는 상기 협약에서 논의된 사용후핵연료 관리에 대한 국가정책 및 향후 추세 등을 자세히 기술하였다. 또 한 주요국가의 최근 이행내용도 요약정리 하였다.

**중심단어:** 사용후핵연료, 직접처분, 재처리, 장기간 저장, 국제안전체계

I. 서 론

지난 2006년 5월 15일부터 24일까지 오스트리아 국제원자력기구 본부에서는 2차 방사성폐기물안전협약 (the joint convention for the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management)의 체결국회의가 개최되었다. 방사성폐기물안전협약은 사용후핵연료 및 방사성폐기물관리에 있어 안전을 범세계적으로 높은 수준으로 제고, 유지하기 위하여 합의된 원자력협약의 자매협약의 성격을 가지는 국제 안전규범이다. 우리나라는 과기부의 김승봉 안전심의관을 수석대표로 하여 원자력안전기술원 중심으로 전체 11명의 유관기관 전문가로 대표단을 구성하여 협약국회의에 참석, 우리나라의 방사성폐기물 안전 분야의 정책, 주요 안전관리내용 등을 협약 조항별로 의무사항을 발표하였다. 전체 협약국이 참여한 본회의에서는 동 회의에서 논의된 여러 분야중 국가 방사성폐기물관리 전략과 정책에서의 후행 핵연료주기의 중요성을 언급하면서 특히 원자력발전국가의 사용후핵연료 관리에 있어 조기 정책 결정의 필요성을 지적하였다. 본 논문에서

는 원자력운영 주요 국가의 사용후핵연료 향후 관리 정책 및 이행관리 현황을 정리함으로써 우리의 사용후핵연료/고준위폐기물 관리정책 및 이행방안의 조기 구축 및 안전관리 방안을 제안하고자 한다.

현재 32개국에서 원자력발전소를 건설 혹은 운영 중에 있으며 그중 18개국은 원자력발전 비율이 총 전기생산량의 25 %이상을 점유하고 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 전력생산량의 측면에서는 전 세계적으로 현재 가동 중에 있는 원자력발전소 443기의 전체 발전량은 거의 3,000 TWh에 이르며 이는 전체 전력생산량의 16 % 이상을 점유하는 것으로 알려져 있다. 최근 IAEA 등의 자료[1-2] 등에 따르면 현재 전체 원자력발전 시설용량은 368 GWe에 이르며, 현재 건설 중인 33개 원전의 용량은 27 GWe이다. 이들 대부분은 현재 아시아 및 동유럽지역에서 건설되고 있으며 향후 2015년에는 원자력발전 시설용량으로 최대 530 GWe까지 증가도 예측되고 있다.

이와 별도로 미국, 일본, 유럽 등에서는 안전성이 확인되는 범위 내에서 기존 원전의 계속운전과 출력증강도 적극적으로 추진하고 있다. 예를 들면 미국의 경우 2005년 12월말 현재 총 35기의 원전에 대한 운

영허가기간 연장(40년→60년)이 승인되고, 현재 14기를 심사 중에 있으며 최근 5년간 59건의 출력 증강도 승인되었다.

이러한 미국, 영국, 프랑스, 일본, 캐나다 등에서 기존 원전의 계속운전 허가에 따른 가동원전의 수명 연장, 원전에 대해 부정적이었던 유럽과 미국에서 신규원전의 발주 가시화, 즉 핀란드에서 2009년 완공 목표로 1기의 1600 MWe 용량의 유럽가압경수로(EPR) 건설착수 및 프랑스에서 2012년 완공 목표의 EPR 건설계획 확정과 2020년부터 매년 1기씩 EPR 건설, 미국의 3개 부지에 대한 조기 부지허가의 신청과 미국 정부차원의 신규원전 건설 통합 인허가를 추진하는 2개 컨소시엄에 대한 재정지원 결정 등, 원자력발전 사업에 대한 활성화가 새로이 예정되어 있다.

현재 전 세계 원자력발전소에서 발생하는 연간 사용후핵연료 발생량은 10,500 tHM이며, 2010년경에는 연간 11,500 tHM까지 발생량의 증가가 예상되고 있으며 향후에도 지속적으로 증가할 것으로 추정되고 있다. 발생한 사용후핵연료의 1/3 정도가 재처리 과정에 있으며 매년 8,000 tHM정도가 단순히 임시 저장시설에 저장되고 있다(2-4). 2003년 말까지 발생한 사용후핵연료의 누적량은 전체 255,000 tHM으로 집계되고 있으며, 지금까지 재처리된 사용후핵연료를 제외한다면 현재 저장되고 있는 사용후핵연료의 양은 171,000 tHM 정도이다. 이들 대부분은 원자력 발전을 일찍 시작한 미국을 제외하고는 서유럽, 동유럽 및 아시아 지역에 비슷한 양이 저장되어 있으며 2010년까지의 총 누적 저장량은 340,000 tHM 이상으로까지 예상되고 있다. 이는 현재 유럽 및 일본에서 후행핵연료주기 정책으로 추진하고 있는 사용후핵연료의 재처리 및 Pu recycling으로 2010년까지 저장되는 사용후핵연료 발생량의 1/3 정도가 순조롭게 재처리될 것으로 가정한 것으로 이 경우 순수 저장량은 200,000 tHM정도 될 것으로 평가되고 있다. 그러나 현재 운전중인 기존 원자력시설의 수명 연장 혹은 출력 증강, 신규 원전의 도입 가능성 등도 감안한다면 2020년말 전체 저장량은 445,000 tHM 이상까지도 예상되고 있어 시급한 대책이 필요한 실정이다.

앞서 언급한 것처럼 현재 전 세계에서 약 370

GWe용량의 원자로가 운영되고 있으며 그 대부분은 경수로이다. 일반적으로 경수로에서 방출되는 사용후핵연료에는 U-235 및 핵분열 Pu (fissile Pu)이 각각 0.9%와 0.6%정도가 포함되므로 이를 재처리과정을 거쳐 U 및 Pu를 회수하여 기존의 경수로에 다시 이용하면 사용후핵연료 1톤은 천연우라늄 약 2톤 이상의 가치를 가지는 에너지원이 된다. 현재 원자력선진국에서 추진하고 있는 장주기 운전(예를 들면 연소도 45-50 GWd/t 이상)에서 방출되는 핵연료의 경우에도 초기 농축도 대비 약 1/3 이상의 핵분열물질들을 포함하고 있으며 그 농도는 1.3-1.5% 정도으로써 연소도가 증가함에 따라 잔류되는 핵분열성 물질은 서서히 감소되는 경향을 보이고 있다(5-7).

## II. 후행핵연료주기 : 재처리 혹은 직접처분

본질적으로 고준위방사능을 가지나, 재활용 가능한 핵분열성 물질을 포함하는 사용후핵연료의 특성 때문에 원자력을 이용하는 국가에서 사용후핵연료의 관리정책은 원자력에너지의 안전한 이용이라는 목표를 얻기 위하여 필수적으로 고려하여야 하는 사안이다. 사용후핵연료가 재활용 가능한 에너지원이라는 관점과 재처리가 주는 국내외의 정치사회적 문제점과 더불어 Pu를 포함하는 후행핵연료주기의 불분명한 경제성 때문에 원자력을 추진하고 있는 국가에서는 사용후핵연료의 직접처분이라는 방식과 재처리방식의 적용에서 정책결정에 대한 최종판단을 유보하고 있는 나라가 많다.

현재 심지층에 직접 처분하는 대안이 상당히 지연되고 있어 사용후핵연료의 저장용량 확충과 저장기간의 연장이 전 세계적인 추세이며, 향후 상당기간동안 이러한 추세는 지속될 것으로 보인다. 특히 원전 운영 선진국들을 중심으로 원자력발전의 경제성을 제고하기 위해 고농축핵연료 사용, 고연소도 원전운영, MOX 핵연료의 사용 등은 높은 붕괴열을 발생시키므로, 원전에서의 최초 10년간은 소내 습식저장시설에서의 운영 및 이후 운영관점에서의 부담이 적은 건식저장시설로의 이동저장방안이 실제적인 방안으로 자리잡고 있다.

그러나 모든 국가에 있어 사용후핵연료의 관리에서 반드시 고려하여야 하는 인자로 안전성 및 보안, 장기간 신뢰성, 대중이해 (public acceptance), 핵안전조치 (safeguards) 확보 및 환경영향 등을 포함하는데는 큰 차이를 보이지 않지만, 실제 적용하는 구체적인 사용후핵연료 관리정책 및 전략, 그리고 세부 이행방안 등은 다를 수 있다. 예를 들면 1990년 이래 처분대상이 되는 고준위 방사성폐기물의 감용 효과를 위하여 후행핵연료주기의 적용 타당성과 장반감기 핵종 및 악티나이드의 분리/전환 (partitioning/transmutation) 가능성에 대한 연구 및 최종처분 이전 향후 여러 가능성 있는 대안의 적용가능성을 높이기 위하여 장기저장 방안의 적용 등이 활발하게 추진되고 있다.

일단 사용후핵연료가 원자력발전소에서 발생되면 소내 습식저장조 (AR)에서 일정기간 냉각되며, 이후 소외 저장시설 (AFR)에 장기간 저장하게 된다. 이러한 사용후핵연료의 궁극적인 관리는 크게 3가지 대안으로 정리될 수 있다.

- 1) the once-through cycle (비순환 핵연료주기): 지층처분시설에 직접처분
- 2) the close cycle(순환 핵연료주기) : 재처리와 재활용이후, 최종폐기물의 처분
- 3) the "wait and see" policy : 일단 저장후 추후 직접처분 및 재처리여부 결정

이러한 3가지의 다른 접근방법에 대한 주요 원자력 국가의 참여별 분류는 아래와 같이 나누어질 수 있다.

가) 재처리시설을 운영하고 있거나 재활용계획을 가지고 있는 국가: 중국, 프랑스, 일본, 인도, 영국 및 러시아가 이 범주에 속하며, 과거 자국의 핵연료를 외국에 위탁 처리하는 국가로 벨지움, 독일, 일본, 네덜란드 및 스위스 등이 포함된다.

나) 비순환주기 (once-through cycle)를 추진하며 일단 중간저장후 직접처분을 하고자 하는 국가: 캐나다, 핀란드, 루마니아, 스웨덴 및 미국 등이 재처

리에 대하여 부정적인 입장을 표시하며 사용후핵연료를 직접 처분하는 계획을 가지고 있다.

다) 후행핵연료주기에 대한 최종 입장을 유보한 국가: 궁극적인 사용후핵연료 관리정책에 대한 방향에 대해 현재 검토 중에 있는 국가로 스페인, 독일, 벨지움, 헝가리, 체코공화국, 멕시코, 아르헨티나 및 한국이 이 범주에 포함된다.

어떠한 관리전략을 지향하더라도, 사용후핵연료의 관리에서 요구되는 기본적인 요건으로써 사용후핵연료에 포함되어 있는 방사성 물질을 인간과 자연 환경으로부터 효율적이며 완벽한 격리를 확보할 수 있는 방안을 고려하여야 하며, 이를 이행하는 방안으로 사용후핵연료의 저장 및 직접처분의 2가지 전략으로 입장 차이를 보여주고 있다. 다시 말하자면 사용후핵연료의 관리방향에 대한 큰 줄기는 원자력이 용국가가 저장기준전략(storage based strategies)과 처분기준전략(disposal based strategies)을 택하는가에 대한 입장의 차이를 보여주고 있다.

### 가. 저장기준 전략 (Storage-based Strategies)

사용후핵연료의 저장은 그 저장기간의 길고 짧음에 상관없이 궁극적으로 최종 전략으로 간주되지 않는다. 전 세계적으로 저장기간은 50년 이내가 일반적이며 저장수조를 이용한 습식저장 방식과 모듈방식의 건식저장 방식이 일반적인 접근방안이다. 50년 이상의 장기간 저장을 위하여서는 지표층이나 지하층에 격납고 형식의 저장방식이 연구되고 있으며 미국의 MRS (Monitored Retrievable Storage) 및 네덜란드의 HABOG HLW 저장시설이 이러한 장기간의 감시 가능한 저장시설의 단적인 실례가 된다.

최근 서유럽을 중심으로 100년이상 장기간 저장 (long-term storage) 대안에 대한 논의가 활발히 진행되고 있는데, 이는 직접처분이 조속히 수행되어야 할 최종대안이 아니라, 장기간 저장 안전성의 확인후 시행할 수도 있다는 점에서 주위의 이해당사자에 의해 적절한 대안의 하나로 간주되고 있다. 이는 직접처분의 안전성에 대한 PA측면과 소규모 발생국가에서의 직접처분은 경제성 문제뿐만 아니라, 향후 기술개발

과 지역 처분시설 방안의 적용 등 다양한 접근도가 가능할 수 있다.

부지 선정에 있어서도 영구 처분부지보다는 장기 저장 부지의 선정은 쉬울 것으로 판단되며, 일부 국가에서는 큰 규모의 장기저장에 따른 경제적 부담에 대한 검토를 통해 향후 기술개발을 통한 보다 최신의 대안 개발이 가능하다면 장기간 저장에 따르는 전체 소요비용의 경제적 비용도 충분히 감내할 수 있는 것으로 평가하고 있다.

이러한 장기간의 저장에는 장기 핵연료의 안전, 보안 및 건전성 확보에 대한 기술적 대책, 시설의 설계 등 장기저장 허가기간의 명시, 소요기금의 확보, 주관 관리기구의 장기운영 등 정치경제적 측면도 매우 중요하며 이를 통한 장기간 안전성의 확보가 인허가에서 주요 고려사항이 된다.

장기간 저장방식의 적용은 사용후핵연료 후행핵연료주기 전략을 결정하지 못한 국가에게 향후 예상되는 후행핵연료주기 관련 기술개발과 이에 따른 경제성 제고 효과를 그대로 이용할 수 있다는 점에서 매력적인 방안이 될 수 있다. 또한 현재 유럽국가에서 지적되고 있는 Pu/U 핵연료주기의 논란에 따라 재처리 사업의 속도를 조절할 수 있는 방안으로도 유럽의 일부국가에서 채택할 수 있는 방안이 되고 있다.

### 나. 처분기준 전략 (Disposal-based Strategies)

핀란드, 스웨덴 및 미국 등의 국가에서는 사용후핵연료의 직접처분을 사용후핵연료의 기본정책 및 원칙으로 이미 결정하였다. 핀란드, 스웨덴은 2020년을 운영목표로 심지층 처분시설의 건설 및 운영을 위한 계획을 이미 수행하고 있다. 캐나다의 경우에도 Canadian Shield의 Plutonic Rock지역에 사용후핵연료를 처분하기 위한 계획에 대하여 국민이해를 얻기 위한 노력을 경주하고 있다. 계획대로 사업이 추진된다면 2025년에는 처분시설이 운영될 수 있을 것으로 예상되고 있다.

미국의 경우에는 1987년 네바다 주의 Yucca Mountain을 사용후핵연료 처분시설로 지정하였으며, 현재 인허가를 위한 노력을 경주하고 있으나 예정보다 추진 일정이 상당히 지연되고 있다. 또 다른

시설로 1999년부터 WIPP시설내 군사폐기물을 지층 처분하고 있으며, 현재는 Yucca Mountain에 민간 HLW, SF 및 군사용 HLW를 처분할 예정이다.

비록 어떠한 중간과정을 거치더라도 궁극적으로 HLW 및 SF는 직접 처분되어야 하나 실제적으로는 처분되더라도 처분시설에서 안전성의 최종확인 및 회수성(retrievability) 등을 고려하여 상당기간 저장 관리하는 것이 일반화되고 있는 현실이다.

### Ⅲ. 사용후핵연료 관리에 대한 주요국가 현황 [8-12]

실제로 사용후핵연료의 관리 전략 및 정책이 앞서 언급한 것처럼 크게 2-3 그룹으로 나눌 수 있지만 같은 추진전략을 가지는 국가라도 세부 추진 방향이나 일정은 큰 차이를 보여주고 있다. 일반적으로 사용후핵연료를 장기간 저장하는 전략을 채택하는 국가의 경우에도 사용후핵연료 자체를 영구히 저장할 수 없기 때문에 궁극적으로 재처리에 의해 발생하는 고준위 폐기물의 형태이거나 사용후핵연료 자체로써 처분할 수밖에 없는 실정이다. 장기간 저장에 의해 사용후핵연료가 가지는 방사능과 붕괴열은 시간이 경과함에 따라 멱함수 (power law: 개개 방사성핵종의 붕괴는 지수함수를 따르나 여러 방사성핵종이 혼합 붕괴할 경우 여러 지수함수의 합형태)적으로 감소되어 처분이나 처리시 예상되는 위험도는 훨씬 낮아지게 된다. 또 다른 고려사항으로 핵연료의 재처리로 표현되는 후행핵연료주기가 방사성폐기물의 발생에 미치는 영향에 대하여도 평가되어야 한다. 즉 사용후핵연료의 재처리에 의하여 발생하는 중저준위 방사성폐기물의 양이 증가하게 되지만 영구처분에 궁극적인 부담을 주는 장반감기 고준위방사성폐기물의 부피는 수 % 이하로 감소되게 된다. 이러한 복합적인 인자들에 의해 원자력을 이용하는 국가에 있어 사용후핵연료관리 전략 및 정책, 그리고 구체적인 이행방안은 큰 차이를 보여주게 된다. 아래는 2006년 IAEA 방사성폐기물안전협약에서 논의된 주요 원자력국가들의 사용후핵연료 관리현황을 정리한 것이다.

### 가. 벨지움

2003년 1월 31일 법에 따라 원자력을 이용한 전력 생산을 단계별 중지를 결정하여 신규 원전 건설 중지 및 기존 원전의 수명을 40년으로 제한하기로 하였다. 전체 7기의 원전 (5.8 GWe)을 운영하고 있으며 현재 발생량은 5,000 tHM 정도이다. 사용후핵연료의 관리 는 사업주체로 국립 방사성폐기물 및 농축분열성 핵 물질 관리기구(ONDRAF/NIRAS)에서 담당하고 있으며 안전규제는 연방원자력관리청(FANC)에서 주관하고있다. 현재 연간 사용후핵연료 발생량은 120 tHM 정도이며, 1990년대 말까지에는 처분 방식으로 재처리한 후 유리화 고준위폐기물은 점토지역에 심 층 처분하는 것을 장기 전략으로 채택하였으나, 1998년 정부에 의해 결정된 최종관리 정책은 직접처분 및 재처리의 2가지 방안에 대한 최종 결론을 유보하기로 하였다. 이에 따라 사용후핵연료의 직접처분도 고려하고 있으나, 아직 처분을 위한 최종부지가 선정되지 않은 상태이다.

고준위 방사성물질의 처분시 거동평가는 원자력 분야 연구기관인 SCK-CEN이 운영하고 있는 Mol의 지하연구소(HADES 연구시설로 EURIDICE팀이 운영)에서 지질 연구 및 조사 작업을 실시하고 있다. 심층처분을 위한 규제검토를 위한 국제 pilot study에 적극 참여하고 있다.

### 나. 캐나다

사용후핵연료의 연간 발생량은 1460 tHM정도로 추정되고 있으며 현재 가동중인 18여기의 CANDU-PHWR (전체 10.6 GWe 시설용량)에서 40년간 운전 수명동안 약 5백만 다발(약 십만 tHM)의 사용후핵연료 bundle이 발생될 것으로 예상된다. 캐나다는 CANDU 핵연료의 특성상 사용후핵연료의 직접처분을 기본 정책으로 채택하고 있으며 현재 AR/AFR 형식의 장기간 습식 및 건식저장을 중간저장 방식으로 채택하고 있다.

발생된 사용후핵연료의 저장은 원전 사업자 즉, 폐기물 발생자가 책임지고 있으며, 2002년 11월 고준위폐기물관리체계를 규정한 핵연료폐기물법이 시행되어 핵연료폐기물국(NFWB) 및 처분사업 시행주

체인 핵연료관리기구(NWMO)를 설립하였다. 최종 처분을 위한 대상지역으로는 중서부 지역의 Canadian Shield 화강암지역으로 500-1000미터 심지층에 직접처분방식을 계획하고 있다. 현재 콘크리트 캐니스터를 수송 및 저장용기로 승인하여 운영하고 있으며 장기간의 임시저장을 위하여 Pickering과 Point Lepreau등의 원전 부지에서 건식 저장시설을 운영하고 있다.

NWMO는 2002년 시행된 핵연료폐기물법에 따라 지층처분, 부지내 저장 및 중앙집중식 저장 등 3개 방안에 대해 연구를 수행하였고 2005년 5월 사용후 핵연료의 장기간 관리방안으로 이해당사자 (stakeholders)의 적극적인 참여 및 Adaptive Phased Management Approach를 제안하였다. 부지별 저장, 중앙집중식 저장을 거쳐 최종 심지층처분을 하는 Adaptive Phased Management Approach 내용은 Phase I 단계로 최초 30년간 발생원자력시설 부지내 저장과 처분시설 및 중간저장시설의 건설/운영 가능성을 심층 검토하며 이와 동시에 이해당사자간 논의를 추진하며, Phase II 단계에서는 이후 30년간 사회적 합의를 통한 결과로 집중식 중간저장시설에 이송 저장하며 끝으로 Phase III 단계에서 이후 60년간 중간저장시설에서 최종 지층처분시설로 이송 처분하기로 되어 있다. 처분시설의 폐쇄시기 및 감시기간 등에 대한 최종 결정은 후세 세대에 의해 결정하기로 하였다.

전체예산은 2002년 가격으로 244억 C\$로 추정되며 NFWA에 의거 발생자가 적립하며 관련 이해당사자의 적극 참여하에 사업은 NWMO에 의해 추진된다. 최종적으로 합의된 부지선정 사업추진을 위한 평가 원칙으로 공정성, 대중보전 및 안전, 작업자 보건 및 안전, 지역 복지, 보안, 환경보전, 경제적 타당성 및 적응성 등을 종합적으로 고려하였다. 최종 제안된 기술적 방안은 500-1000 m 지하의 중앙집중식 심지층 처분을 원칙으로 적용하며 중간단계로 천층 저장시설에서의 장기간 저장으로 최종 처분방안에 대한 유연성 확보를 위해 일정기간 회수가능성도 확보하도록 되어있다. 주요 관리방안으로는 단계별 이행방안 적용으로 적어도 300년간 회수/관리 적용,

NFWA에 따른 관리기금의 발생자 부담 (OPG, HQ, NBPN, AECL) 원칙, 기존 원자력시설부지에 대한 우선순위 부여 등이다.

기존 NFWA의 세 가지 방안 (심지층처분, 원자력 부지내 저장, 중앙집중시설 저장)을 심층 검토한 후 최종 제안된 NWMO 안은 현세대의 최종 결정 대신 설계 단계부터 단계별 안전기준 만족 확인과 단계별 유연성있는 결정, 재정적인 측면에서의 보수적 접근, 운영 및 설계에서의 지속적인 개선사항을 반영할 수 있어 성능평가 개선 및 불확실성의 저감, 장기간 중간저장 능력 확보로 회수 가능성 등 후손에게의 여유도를 제공하고 다음 단계 추진시 충분한 안전성에 대한 확신을 가진 정책으로 입안이 가능할 것으로 예상된다. 2005년 11월 공론화 과정을 거쳐 정부에 최종 보고한 후 2006년 정부의 최종 권고안으로 결정될 계획이다.

#### 다. 핀란드

현재 4기의 원전으로 총 2.7 GWe의 시설용량을 가지고 있으며 발생하는 사용후핵연료는 발생자가 저장 및 최종처분을 책임지도록 되어 있어 전력회사 출자에 의한 POSIVA사가 처분사업 기관으로 활동 2001년 Okiluoto를 사용후핵연료 처분부지로 세계 최초 결정하였다.. 현재 Okiluoto 원전 및 Loviisa 원전에서의 연간 발생량은 각각 40 tHM 및 25 tHM으로 추정되고 있다.

각 원전에서의 사용후핵연료 관리방식으로 Okiluoto 원전의 경우에는 수십 년간 중간저장후 직접처분방식을 계획하고 있으며, Loviisa 원전의 경우에는 과거 러시아와의 계약에 따라 원전 내의 사용후핵연료 저장조에 2-3년 동안 냉각시킨 후 재처리 및 처분을 위하여 러시아 Chelyabinsk 부지로 수송하였으나 1996년부터 이송을 중지하였다.

사용후핵연료의 관리정책은 2001년 5월 의회에 의해 직접처분으로 결정되었으며, 처분방식은 2020년부터 Okiluoto 원전 인근 500 m 지하 동굴처분시설을 운영할 예정이다. Okiluoto 및 Loviisa 원전은 1987년부터 습식중간저장시설을 운영하고 있으며, 2012년 및 2020년 사용후핵연료 처분시설의 건설허

가 및 운영을 각각 신청할 예정이다. POSIVA는 Okiluoto 처분후보부지 근처 지하암반 특성실험시설로 ONKALO건설을 2004년부터 추진중이며, 원전의 경우 향후 5-6년내 발생량이 저장설비용량에도 달할 예정이므로 추가 사용후핵연료 저장용량을 확충하고 있다.

#### 라. 프랑스

1974년부터 시작된 프랑스의 원자력발전은 현재 59기의 원전이 국내 전력수요의 75 %를 넘는 431 TWh (2005년 기준)의 전력을 공급하며 전력요금 또한 유럽전체에서 가장 저렴한 수준이다. 프랑스의 사용후핵연료 관리는 RCR 정책, 즉 Reprocessing (사용후핵연료의 재처리), Conditioning (폐기물의 적절한 고화처리), Recycling (U 및 Pu의 재활용)으로 설명할 수 있다. 즉 사용후핵연료의 관리정책은 재처리(재활용)이며 고준위 유리고화체 폐기물을 20-30년간 중간저장한 후 지하 400-1,000 m 암반에 지층 처분할 예정이다.

원칙적으로 사용후핵연료의 재처리사업은 AREVA사가 수행하고 있으며, 재처리후 고준위 폐기물의 처분은 국립 방사성폐기물 관리기구 (ANDRA)가 책임지고 있다. 현재 연간 사용후핵연료 발생량은 1150-1200 tHM이며 이중 850 tHM 정도가 재처리되고 있다. 또한 고준위폐기물의 최종관리방안으로 2006년까지 장기저장, 핵종분리변환, 심지층처분 등 3개 분야에 대한 종합평가를 제시하도록 되어있다.

최종처분을 위하여 1993년 10월 고준위폐기물 처분을 위한 지하연구시설에 대한 4개 지역의 대상 후보부지를 발표하였으며 1998년 지하연구시설부지로 Bure가 선정되어 2001년부터 건설작업에 착수, 약 500 m 심지층에서의 지질학적, 수문학적 특성 평가를 위한 지하연구시설의 운영을 2020년 목표로 추진하고 있다. 앞서 언급한 심지층처분, 장기저장 및 P&T 방안에 대한 사용후핵연료 종합관리방안 등, 지난 15년간 연구내용을 2005년 6월 ANDRA 및 CEA보고서로 정리 제출하였으며 2006년 3월 고준위폐기물의 최종 관리방안으로 “회수가능한 심지층처분”으로 확정하였다.

**마. 독일**

독일의 원자력발전은 현재 17기의 원전 (19기 운영정지)이 국내 전력수요의 약 30 %인 158 TWh (2005년 기준)의 전력을 공급하고 있다. 일찍이 사용후핵연료의 재처리와 Pu의 재순환을 가장 현실적인 방안으로 결정하고 법적 체계를 구비하여 후행핵연료주기 정책으로 사용후핵연료의 재처리 및 발생된 고준위방사성폐기물의 심층처분을 원칙으로 하였으나 1994년 7월 원자력법(Artikelgesetz)의 개정으로 LWR 사용후핵연료의 직접처분도 사용후핵연료 관리방안의 대안으로 결정하였다. 이후 2005년 7월 1일 개정된 원자력법은 재처리목적으로의 사용후핵연료이송이 금지됨에 따라 사용후핵연료의 직접처분만이 가능하게 되었다.

현재 사용후핵연료의 관리정책을 지층처분으로 결정하였으며 지층처분시설의 운영목표 시한은 2030년으로 정하였다. 현재 수행중인 재처리 및 중간저장 관리의 경우 중간저장은 Gorleben 및 Ahaus 부지 등에서 수행되며, 사용후핵연료의 재처리는 2005년 6월말까지 영국, 프랑스에 해외 위탁하고 있다. 발생하는 고준위폐기물은 유리고화체 형태로써 Gorleben (2000년부터 최종처분에 대한 안전성 논의에 따라 일시 조사중지중) 등의 시설에 향후 영구처분시설에 처분할 계획이다.

사용후핵연료의 최종처분에 대한 규제 및 책임은 연방 환경자연보호 원자로안전부(BMU) 산하로 1989년 설립된 연방방사선방호청(BfS)가 가지고 있으며 전력회사의 출자에 의해 독일 폐기물처분시설 운영회사인 DBE가 연방방사선방호청(BfS)으로부터 업무위탁을 받아 처분시설의 건설과 운영을 책임지고 있다. 연간 발생하는 사용후핵연료의 양은 500 tHM정도로 평가되고 있으며 현재 2개의 건식 및 1개의 습식 중간저장시설을 운영하고 있으며 방사성폐기물 처분시설의 후보부지로서 1979년 Gorleben 암염지역을 결정하였다. Gorleben 처분장의 지하조사는 2000년 초 연방정부와 전력회사간의 탈원자력 협정에 따라 2001년 10월부터 최소 3년 내지 최장 10년 간 중단하였다.

현재 진행되고 있는 주요 사업 내용으로 유리화폐

기물에 대한 중간저장부지의 인허가, 고연소도 (55 GWd/tHM) 사용후핵연료 및 고용량 저장캐스크에 대한 Gorleben 및 Ahaus의 중간저장시설 인허가, 원자력시설의 해체시를 대비한 Greifwald의 사용후핵연료 및 방사성폐기물 저장시설의 건설, Gorleben의 사용후핵연료 및 방사성폐기물 취급시설 건설, 저준위 폐기물을 위한 Konrad처분장의 인허가 등이 수행되고 있다.

2005년 7월 1일부터 사용후핵연료의 운송이 중지되었으며 이에 따라 발생하는 사용후핵연료는 모두 발생부지내 임시 중간저장하게 되어있다. 또한 2006년말부터 부지내 임시저장시설의 운영 의무가 원전에 부가되었으며 40년간에 걸친 중간저장시설의 운영이 허가될 예정이다.

**바. 일본**

1987년 발표된 “원자력개발이용 장기계획”과 1994년 6월의 수정계획에 따르면 일본에서는 사용후핵연료를 재활용 가능한 에너지자원으로 간주하고 있으며 재처리되기까지 적절하게 저장, 관리하여야 한다고 기술하고 있다. 이에 따라 사용후핵연료의 관리정책은 재처리이며 발생한 사용후핵연료는 재처리를 위해 습식저장시설에 저장하게 된다. 발생하는 유리고화체 형태의 고준위폐기물 (현재 영국 및 프랑스에 위탁하여 수행중인 재처리 과정 중에 발생되나 2001년부터 재처리를 위한 국외이송 중지)은 심층처분을 원칙으로 관리정책을 추진하고 있다.

현재 전체 52기의 운영 원전 (총 45.7 GWe 시설용량) 으로부터 연간 발생하는 약 750 tHM의 사용후핵연료는 재처리되고 있으며 발생하는 고준위 유리화폐기물은 최종처분 전까지 로카쇼 저장시설에서 50년간 저장될 예정이다. 고준위폐기물처분을 위한 실시주체인 원자력환경정비기구(NUMO)가 처분사업 추진을 주도하고 있으며 2000년 특정방사성폐기물의 최종처분에 관한 법률을 제정하였다. 2005년부터 최종처분 시기 및 처분량 등 처분계획을 매 5년마다 10년간 계획을 수립하도록 되어있으며, 2018년에 세부 조사지역을 선정하여 2028년 최종부지 선정, 2038년 최종처분을 수행할 예정이다.



재처리되기 전까지 저장은 금속캐스크 용기를 사용하고 있으며 저장시설의 임계도 설계에 연소도이득(Burn-up Credit)을 적용하고 있다. 현재 로카쇼무라 재처리공장 (시설용량: 800 tHM/y)이 시범 운전 단계로서 2007년부터 본격적인 사용후핵연료의 재처리가 가능할 것으로 판단되고 있으며, 사용후핵연료 중간저장시설은 2010년 운영 목표로 추진하고 있다.

2005년 통합 발족된 JAEA (Japan Atomic Energy Agency)은 고준위폐기물의 지층처분시 안전성을 확보하기 위한 연구개발을 2개소의 지하연구시설 (Mizunami 및 Horonobe)에서 수행하고 있는데 특히 화강암 및 퇴적암환경에서의 Quantitative Assessment Radionuclide Migration Experimental Facility에서 관련 안전평가방법론의 확립 연구를 수행하고 있다. 물론 일본원자력안전기구 (JNES) 주도의 고준위폐기물의 처분 안전규제 기반 확보를 위한 안전연구도 수행할 예정이다.

## 사. 스웨덴

운영중인 10기의 원자력발전소로부터 전체 전력 수요의 약 50 %를 공급받고 있으며 시설용량은 8.9 GWe정도이다. 스웨덴 핵연료/폐기물관리공사 (SKB)가 방사성폐기물 사업 전반에 걸쳐 사업을 수행하고 있으며, 연간 발생되는 약 230 tHM의 사용후핵연료는 1985년부터 운영을 시작한 CLAB시설에서 향후 30-40년간 중간저장이후 500미터 지하에 구리 용기 등으로 밀봉하여 직접 처분할 계획에 있다. 이를 위하여 CLAB 시설에 위치하게 될 사용후핵연료 밀봉시설 (Encapsulation Plant)에 대한 엔지니어링 설계를 완료하였으며 2006년에 안전성분석보고서를 제출하고, 이후 건설을 개시할 예정이다.

사용후핵연료의 심층처분을 위하여 1995년부터 지하암반연구소(Aspo hard rock Lab.)의 운영을 시작하여 처분공 굴착, 처분 및 회수 등 연구를 수행하고 있다. 사업주체인 SKB에 따르면 2015년 이후 심층처분장을 운영할 예정이며 대상 후보부지로서 일단 기존 원전부지인 포스마크 및 오스카삼 부근 2개 지역을 대상으로 선정하여 부지특성조사를 시행하고

있다. 부지는 최종 주민투표로 결정되며 이후 세부 지질학적 검토를 수행할 계획으로 있다. 스웨덴의 사용후핵연료의 관리정책은 일정기간동안의 중간저장이후 심층처분으로 결정하였으며, 중간저장시설은 현재 CLAB ('86년 운영개시, 5,000 tHM저장용량)을 운영하며 심층 처분시설은 지하암반 500 m 이하에 밀봉 처분으로 2008년 인허가 신청, 2011년 건설착수 및 2017년 이후 운영할 예정이다.

## 아. 스위스

전체 5기의 원전을 운영 (3.2 GWe)하고 있으며 60년의 수명기간동안 발생될 향후 누적발생량은 4,400tHM 정도이다. 현재 사용후핵연료 관리정책으로 재처리를 원칙으로 추진하고 있으며 재처리시설을 보유하고 있지 않은 스위스는 지금까지 국내 원자력발전소에서 발생된 모든 사용후핵연료를 프랑스 (COGEMA사-UP3)와 영국 (BNFL사-THORP)에 위탁 재처리하는 기본입장을 유지하고 있다. 사용후핵연료의 재처리 과정에서 발생된 고준위 방사성폐기물은 유리고화 처리를 하여 2001년부터 운영을 개시한 중간저장시설인 ZWILAG (ZZL)에서 50년간 저장하며, Beznau 원전 부지내에 위치한 ZWIBEZ 임시저장시설의 운영과 추가로 습식저장시설을 Gosgen 원전에 건설하고 있다. 현재 연간 발생되는 85 tHM의 사용후핵연료는 전력회사와 정부가 공동출자한 방사성폐기물관리공동조합 (NAGRA)에서 주체가 되어 관리사업을 수행하고 있다.

후행핵연료주기사업은 현재 법규에 의해 명확히 규정화되어 있지 않지만 사용후핵연료의 관리정책으로 현재 재처리후 유리화시킨 고준위폐기물의 심층처분을 원칙으로 하고 있으며, 사용후핵연료의 직접 처분을 위한 중간저장도 고려하고 있다. 또한 2006년 6월부터 10년동안 재처리를 위한 사용후핵연료의 국외이송을 금지하게 되어있어 이 경우에는 발생된 사용후핵연료는 고준위 폐기물로 일단 관리될 예정이다. 현재 처분지역으로 적당한 암반 지역을 조사 중에 있으며 MOX핵연료의 재발전 및 재순환도 일부 원전에서 수행하고 있다.

1987년의 스위스 연방위원회 결정에 따라 고준위

및 장반감기 방사성폐기물의 영구 지층처분의 타당성을 입증하기 위한 프로젝트인 "Gewahr"을 NAGRA가 수행하였다. 기본적으로 스위스는 퇴적암 지역과 결정암 지역 2군데 중에서 고준위 방사성폐기물의 영구처분 부지를 선택할 것으로 예상되고 있다. Grimsel 지하시험시설은 "Gewahr" 프로젝트의 일환으로서 결정암 지질구조를 나타내는 심지층 동굴 영구처분시설에 관한 처분타당성 연구가 수행되었으며, Mont Terri 지하연구시설은 퇴적암 지질구조를 나타내는 지역에 대한 심지층 동굴 영구처분시설에 대한 처분 타당성을 확인하기위해 추진되었다. 이러한 연구결과에 따라 2020년 이후에는 고준위 및 장반감기 방사성폐기물의 지하 영구처분시설을 확보할 예정이다. NAGRA주도의 Opalinus Clay 프로젝트 등 고준위폐기물 처분의 타당성 평가연구 수행과 병행하여 규제감독기관인 연방에너지청(BFE)는 심층 처분부지 선정에 관한 절차계획(지속적인 정보공개, 3단계의 후보부지선정 및 관련 지자체와 협력 등)을 공표하였으며, 2050년부터 처분장을 운영할 예정이다.

**자. 영국**

영국핵연료공사 (BNFL)가 연간 발생하는 1,000 tHM 정도의 사용후핵연료의 관리를 책임지고 있으며, 후행핵연료주기 관리정책은 운영자의 상업적 판단에 일임한다. 그러나 현재 최종관리방안을 결정하지 않은 Sizewell-B 가압경수로 원전 발생 사용후핵연료를 제외하고는, 다른 형태의 사용후핵연료는 재처리후 고준위폐기물의 유리화 및 처분을 원칙으로 추진하고 있으나 재처리 과정 중에 발생된 고준위폐기물의 최종 처분부지는 아직 결정을 하지 못하고 있다. 재처리가 중간저장후 직접처분방식보다 경제성이 떨어질 수 있다는 관점과 Pu재활용에 대한 국민 이해를 구하는 문제 등 때문에 사용후핵연료의 재처리에 대해 많은 의견이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 스코틀랜드의 Torness AGR에서는 사용후핵연료에 대한 재처리 여부가 최종 결정될 때까지 Modular Vault Dry Store(MVDS) 형태의 건식중간저장 방식을 추진하고 있다.

그러나 기존의 재처리 정책 아래에서 고준위폐기

물의 유리화 (vitrification) 시설이 Sellafield에서 이미 가동되고 있으며 1994년 3월 27일부터 THORP 재처리 시설의 운영도 개시하였다. 또한 Pu의 재활용을 위하여 1994년에 MOX 핵연료 가공공장에 대한 인허가가 발급되었다.

고준위폐기물의 장기관리 정책으로는 DEFRA (Dept. of Environment, Food and Rural Affairs) 에 의한 Managing RW Safely 발표와 2003년 11월부터 CoRWM (독립적인 성격의 방사성폐기물자문위) 구성으로 대중 신뢰성을 제고하고 하기위하여 노력하고 있다. CoRWM은 3단계 계획을 걸쳐 현재 재고량, 관리 방안 분석 및 상세분석이 필요한 방안의 선정 및 끝으로 2006년 7월 최종 방안 선정 및 권고사항을 제시할 예정이다. 현재 고려중인 처분방안은 심층처분, 단계별 심층처분, 장기 중간저장, 천층처분이며 주 고려인자는 작업자 및 일반대중 안전, 보안, 환경영향, 인문사회 영향, amenity 영향, 후세에의 부담, 실행가능성, 유연성 및 비용 등이다. CoRWM 계획의 성패는 이해당사자와 일반대중의 광범위한 참여에 달려있으며 제시되는 관리방안 검토제안과 이행방안은 실제 부지선정과 연계될 예정이다.

향후 고준위폐기물 관리계획의 1단계는 과거 정부 계획의 검토, 2단계는 2006년 7월까지의 CoRWM에 의한 심층검토 작업, 3단계로 후보부지 선정등도 고려한 최종 이행방안 등을 논의한 후, 2008년에 최종 결정이 예상되고 있다. 4단계이후의 실제 이행과정은 2008년 이후부터 시작될 것으로 예상되고 있다.

현재 폐기물뿐만 아니라 향후 폐기물로 처리되어야 하는 Pu 등도 관리 대상으로 고려하고 있다. 실제적으로 현재 약 5%의 Pu재고량이 연료로 재활용하기에 어려울 정도로 오염되어있어 새로 발족한 NDA (Nuclear Decommissioning Authority)를 통해 Pu재고량 관리계획을 검토하고 있다.

**차. 미국**

지난 1982년 NWPA (방사성폐기물정책법)에 따라 사용후핵연료에 대한 사업은 연방정부 에너지부(DOE)에서 주관하고 있으며, 사용후핵연료 및 고준위 방사성폐기물관리 기구인 OCRWM (에너지부 산

하 민간방사성폐기물관리국)을 설립하여 상업용 사용후핵연료 및 고준위폐기물의 관리 책임을 맡기고 있다. 그후 1987년 NWPAA (방사성폐기물정책수정법)에서 유카산 부지를 잠정 처분 후보부지로 지정하였으며 2002년 연방의회는 부지승인에 따라 처분부지로 최종 결정하였다. 또한 NWTRB (방사성폐기물 기술심사 위원회)는 사용후핵연료 및 고준위폐기물 관리에 대하여 독립적으로 권고의견 및 조언을 제시하는 기관으로 그 구성원을 대통령이 임명한다.

미국에서는 연간 2200 tHM정도의 사용후핵연료가 발생되고 있다. 현재 104기 원자력발전소에서 발생하는 사용후핵연료를 주로 소내 습식/건식 저장하고 있으며, 소내 저장용량이 점점 부족해짐에 따라 소내의 건식저장에 대한 요구가 급속히 증가하고 있다. 1987년 개정된 방사성폐기물정책에 의거하여 사용후핵연료 저장방식의 일환으로 MRS (Monitored Retrieval Storage) 설비에서 장기간 중간저장후 2010년부터 심층 지하처분을 추진할 예정이었으나, 대상 부지의 결정이 어렵기 때문에 MRS사업에 대한 추진은 불투명한 상태이다. 2002년 의회 결정에 따라 사용후핵연료 및 고준위폐기물의 최종처분은 Yucca 처분시설에서 수행되며 NRC에 의한 3-4년의 인허가 기간이 경과한 후, DOE에 의한 처분시설의 건설을 개시하고, 이후 폐기물 수용과 관련 인허가의 변경신청이후 대상폐기물을 수송하도록 예정되고 있다. 이러한 사업의 추진일정에 있어서도 여러 정치 및 사회 환경 등에 의한 불확실성이 있기 때문에 현재 NRC에 의해 허가되는 독립적 저장시설(ISFSI)의 운영은 계속될 것으로 보인다.

특이 사항으로 미국(DOE NNSA 주관)주도의 GTRI (Global Threat Reduction Initiative) 계획의 추진인데 2004년 5월부터 IAEA, 러시아 등과 협력하여 핵무기전용가능 물질의 회수계획을 수행하고 있다. 주요내용은 러시아제공 연구로의 저농축핵연료 사용, 연구로 및 의료용 생산시설의 저농축 타겟 사용, 미국제공 연구로의 사용후핵연료 회수 및 dirty bomb으로 사용가능한 방사성물질의 관리감독체계 강화인데 이를 위해 GTRI계획은 대상이 되는 위험 핵물질에 대하여 전세계적인 종합관리체계 구축하고

있다. 현재 1996년 5월부터 2004년 12월까지 27개국에서 31번의 핵연료 환수 (Savannah River 및 Idaho 연구소부지내 저장)가 있었으며, 2005년말 현재 11개국에서 환수 중에 있다. 미국의 지원하에 러시아 핵연료 환수계획도 계획대로 진행중이며, 현재까지 17개국에서 약 4톤의 핵연료가 환수 완료되었으며 또한 회수된 HEU를 LEU으로 전환하는 blend-down 계획을 지원하고 있다.

### 카. 러시아

구소련의 경우에는 원자력산업 초기부터 재처리, 즉 순환핵연료주기를 국가 전략으로 채택하였으며 이에 따라 발전용 원자로에서 나온 사용후핵연료를 재처리하여 U 및 Pu은 회수한 후 재순환하고 있다. 이때 발생된 고준위 핵분열생성물을 폐기물저장시설에 장기간 저장하고 있다. 이러한 정책은 소련연방이 해체된 후에도 여전히 러시아 원자력부에서 채택하고 있으며 과거 군사용으로 사용되었던 Pu 및 고농축 U 뿐만 아니라 민간 원자로에서 나온 핵분열성 물질의 재활용이 적극 추진되고 있다.

그러나 현재 러시아에서는 원전에서 방출되는 사용후핵연료의 실제 재처리여부는 발생된 사용후핵연료의 종류에 따라 차이를 보이고 있다. 즉 BN-600 및 VVER-440 핵연료는 연간 재처리용량 400 tHM의 Chelyabinsk의 RT-1 시설에서 1976년부터 재처리하고 있으며 회수된 U는 RBMK형 원전의 연료로 재활용하고 있다. 핵분열 Pu의 경우에도 현재 건설중인 MOX핵연료 가공시설 (시설용량: 5 tPu/y)의 운영 개시에 맞추어 핵연료로 재가공하기 위하여 중간저장 시설로 수송된다. 그러나 VVER-1000원전에서 발생하는 사용후핵연료의 재처리는 고속로의 운영과 연계되어있는 RT-2 재처리시설운영이 지연 (2020년경 운영예정)되고 있어 건식저장시설내 저장하고 있다.

현재 운영중인 11기의 RBMK원전 사용후핵연료는 현재 재처리의 경제성이 없는 것으로 판명되어 원자로 건물내 저장 수조에 장기 저장되고 있으며 궁극적으로 건식저장시설에 장기 저장할 계획이다. 고준위 액체폐기물의 처리, 처분을 위하여 1987년부터 Mayak지역에 유리화 공정시설을 시험적으로 운영하

고 있으며 40-50년간 냉각후 고준위폐기물로 심지층에 처분할 예정이다. 아직 대상부지는 결정되지 않았지만, 최종 처분시설에 대한 예비설계를 진행하고 있으며, 이를 위하여 방사성폐기물관리를 위한 규제법안을 준비하고 있다.

특히 동구권 국가들로부터 러시아 제공 핵연료 반환 및 고준위폐기물처리계획, 그리고 비용 등의 문제는 향후 구조된 동구권국가의 사용후핵연료 관리체계에 중요한 변수가 될 것으로 판단된다.

**타. 네덜란드**

네덜란드의 경우에는 방사성폐기물 담당 중앙기구(COVRA)가 사용후핵연료의 관리를 책임지고 있으며, 연간 발생량은 15 tHM정도로 추정되고 있다. 사용후핵연료 관리정책은 전적으로 사업자의 결정에 따르고 있으며 재처리된 고준위폐기물의 장기 저장 후 직접처분 방안을 최종관리방안으로 고려하고 있다. 이를 위하여 약 100년이상 HLW의 장기저장을 목표로 중간저장시설 (HABOG 시설)을 운영하며 최종 지하처분시설을 위한 처분장 예비/개념설계와 안전성연구를 수행하고 있다.

**IV. 사용후핵연료 관리정책 결정시 고려 사항**

원자력을 이용하는 국가에서 사용후핵연료의 관리는 사용후핵연료가 갖는 에너지원의 측면과 정치 사회적 측면에서의 고려가 필수적이며, 각국의 고유한 환경은 사용후핵연료 관리정책이나 전략의 수립에 큰 영향을 미치게 된다. 물론 어떠한 전략이나 정책의 경우에도 사용후핵연료의 관리는 Pu의 재활용 및 최종 처분 고준위폐기물의 발생량 감소효과를 얻기 위한 재처리 전략과 재처리활동에 의한 핵 확산 및 PA 문제와 현재 논란중에 있는 Pu cycle의 경제성 등을 고려하여 사용후핵연료를 직접 처분하는 전략 등 크게 2 가지 방안으로 나누어진다.

어떠한 산업 활동에서와 마찬가지로 원자력산업, 특히 사용후핵연료와 같은 후행핵연료주기 활동에 있어서 이러한 활동이 자연 환경, 인간 환경, 사회 환경, 정치 환경 그리고 국제정치 환경에 미치는 영향

을 고려하여야만 한다. 이러한 외부관련 인자와 여러 인자들의 상호연관성이 사용후핵연료 관리의 전략이나 정책의 수립과 추진에 큰 영향을 미치게 된다. 실제적인 측면에서 사용후핵연료의 재활용은 천연자원의 절약 (MOX핵연료에 의한 재활용주기를 적용할 경우 매 주기당 15 %의 U 자원이 절약)과 처분 폐기물량의 감소 (처분되어야 하는 폐기물의 부피가 1/3 수준 이상까지도 감소되며 U의 mill-tailing 폐기물도 상당히 감소) 등의 경제적인 효과를 분명히 가져올 수 있으나, 재처리시설에서의 고방사선 작업에 의한 작업자 피폭 및 주변 환경에 방사선 영향을 유발시킬 수 있다는 측면이 공존하고 있다.

현재 IAEA 및 OECD/NEA 참여 주요국의 사용후핵연료 관리정책은 정도의 차이는 있지만 크게 아래와 같이 6개 항목으로 이행 정책이나 현황으로 정리될 수 있었다.

- 사용후핵연료 관리에 있어 많은 국가들이 향후 재처리나 처분에 있어 결정을 유보하고 있다. 영국 및 네덜란드 등은 사용후핵연료의 재처리/재활용 여부를 국가 정책으로 결정하기 보다는 원전사업자의 경제적 접근사항으로 이해하고 있으며, 또한 이전에 재처리를 추진했던 독일, 스위스 등은 2005년부터 재처리를 위한 사용후핵연료의 국외 이송을 일정기간 금지하고 있어 재처리에 대한 부정적인 국민이해를 보여주고 있다.

- 모든 국가에서 사용후핵연료는 최종적으로 어떠한 형태로든 심지층 처분되어야 함에 일치된 정책방향을 정하고 있으며 이를 국가 관리정책의 기본으로 추진하고 있다.

- 일부 국가에서는 실제적으로 사용후핵연료의 지층처분을 추진하고 있으며, 일부 소규모 발생국가에서는 지역/국제 지층처분방안을 선호하고 있다.

- 2006년 종합연구프로그램에 포함시켜 발표하는 등 프랑스 등 일부 국가에서는 100년이상 장기저장방안에 대한 적용가능성에 대한 검토를 활발히 수행하고 있다.

- 캐나다 및 영국은 현재 관리정책을 재검토하고 있으며, 장기저장 방안을 대안의 하나로 검토하고 있

다. 특히 캐나다의 Adaptive Phased Management Approach 방안은 다량의 CANDU 핵연료를 저장하고 있는 우리에게 좋은 참고사례로 판단되고 있다.

- 네덜란드는 이미 100년이상 장기저장으로 기본 정책을 정하였으며, HABOG 시설의 운영계획을 추진하고 있다.

우리나라 정부는 1980년대 초부터 방사성폐기물의 안전한 관리를 목적으로 처분부지 확보를 위해 지속적으로 대책을 강구하여 왔다. 1998년 9월 30일에 개최된 제 249차 원자력위원회에서 2008년까지 중·저준위 방사성폐기물 처분장, 2016년까지 중앙집중식 사용후핵연료 중간저장시설의 건설·운영을 목표로 하는 “국가 방사성폐기물 관리대책”을 결정하였으나 대상 후보부지 주민의 반대에 따라 최종 선정에 실패하였다. 이후 2004년 12월 제 253차 원자력위원회에서는 2008년까지 중·저준위 방사성폐기물 처분장의 건설·운영을 우선 시행하고 사용후핵연료는 국가정책방향, 국내의 기술개발 추이 등을 감안하여 중간저장시설 건설 등을 포함한 관리방침을 추후 검토하여 결정하기로 하였다.

이에 따라 사용후핵연료 관리정책 결정을 위한 공론화가 중저준위폐기물 처분시설의 운영 전후에 본격화 할 것으로 예상되고 있으며, 향후 2-3년 이내 원전부지별 소내 저장용량 확장, 저장시설내 장기관리에 따르는 안전성 확보를 위한 논의가 본격적으로 진행될 것으로 예상된다.

최근 서유럽을 중심으로 100년이상의 장기간 저장에 대한 논의가 활발히 진행되고 있는데, 이는 직접처분이 즉시 수행해야할 최종적인 것이 아니라, 장기간 안전하게 저장관리 후에 시행할 수도 있다는 점에서 주위의 이해당사자에 의해 적절한 대안의 하나로 간주되고 있다. 이러한 장기간의 저장에는 장기간의 핵연료의 안전, 보안 및 건전성 확보에 대한 기술적 대책, 시설의 설계 등 장기저장의 허가기간의 명시, 소요기금의 확보, 주관 관리기구의 장기유지운영 등의 정치경제적 측면도 매우 중요하며 이러한 장기간 안전성의 확보가능성이 인허가에 있어 주요 고려사항이 된다.

장기간 저장방식의 적용은 후행핵연료주기 전략을 결정하지 못한 국가에게 향후 예상되는 후행핵연료주기 관련 기술개발과 이에 따른 경제성 제고 효과를 그대로 이용할 수 있다는 점에서 매력적인 방안이 될 수 있다. 또한 현재 유럽국가에서 지적되고 있는 Pu/U 핵연료주기의 논란에 따라 재처리사업의 속도를 조절할 수 있는 방안으로써 유럽의 일부 국가에서 채택할 수 있는 가능한 대안의 하나가 되고 있다.

따라서 직접처분이나 재처리 방안의 조속한 결정에 대한 대안으로 사용후핵연료의 중간저장기간을 장기화하는 것이 재처리 혹은 직접처분으로의 국가 관리정책의 최종 결정과 이러한 최종결정의 수행에 따르는 비용의 유예를 얻을 수 있는 방안의 하나로 심층 검토할 필요가 있다. 물론 이러한 장기저장 기간동안 2가지 방안에 대한 현실적인 실증과 이러한 실증의 바탕에서 우리나라가 향후 추진하고자 하는 사용후핵연료 관리전략 및 정책을 구체화하여야 하며 이를 통해서 주요 원자력발전 선진국으로써 또한 지속가능한 원자력이용의 핵심국가로써 필연적으로 해결하여야 하는 사용후핵연료관리의 안전관리의 최적화에 보다 접근할 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다.

## V. 안전, 주민수용성 그리고 결론

2006년 5월 개최된 방사성폐기물안전협약 제 2차 체약국회의에서는 사용후핵연료 관리정책의 결정 필요성과 결정과정에 있어서 사회적 수용성의 증진 문제가 대다수 체약국의 관심사항임을 재확인하는 자리였다. 특히 사회적 수용성의 확보는 2009년 5월 개최될 3차 협약체약국회의에서도 중점 논의사항으로 거론될 것으로 보인다. 이번 2차 회의는 방사성폐기물관리사업에 있어 관련정보의 적극적인 제공과 의사결정 과정의 투명한 공개와 정책결정과정에 다양한 이해당사자 참여방안을 보다 적극적으로 모색하여야 한다고 강조하였다. 이는 방사성폐기물 관리시설과 같은 다양한 이해당사자가 개입되는 장기 국가사업의 경우 안전을 담당하는 규제기관도 사업 초기

부터 참여하여 투명한 정보공개 및 주민수용성 제고에 보다 적극적인 역할을 수행해야한다는 OECD/NEA의 최근 제안[13]과 흐름을 같이 하는 것으로 보여진다.

앞서 언급한 것처럼 사용후핵연료의 장기관리에는 핵연료의 안전, 보안 및 건전성 확보에 대한 기술적 대책, 적절한 소요자금의 확보, 주관 관리기구의 운영 등 장기 안전성의 확보를 위한 주변의 체계정비도 주요 고려사항이 된다. 조만간 예상되는 사용후핵연료 관리사업의 안전성 확보에는 주요 이해당사자가 초기단계부터 정책결정과정에 참여하여 안전을 최우선으로 고려하는 원자력정책 이행을 추진하여야 할 것이다. 특히 원자력의 국제안전체계 (Global Safety Regime)화와 관련, 관련 국제협약과 최근 논의되고 있는 GNEP (Global Nuclear Energy Partnership) 및 핵확산 저항성 핵연료주기 안전관리 체계 확립 등의 추진방향에도 관심을 두고 세계 추세에 적극 대응할 필요가 있다.

결론적으로 원자력발전이 우리세대에만 국한되는 발전방식이라면 Pu recycle과 같은 후행 핵연료주기의 선택보다 사용후핵연료의 직접처분이 더 바람직한 대안으로 간주될 수 있다. 또한 Pu의 분리와 재사용이 인류에 국제정치적인 측면이나 Pu자체의 생물학적 측면에서 돌이킬 수 없는 위험을 가져다준다면 사용후핵연료를 직접 인간의 손이 미치지 어려운 심지층 등에 처분하는 것 외에는 다른 대안은 없다는 결론에 도달하게 된다. 그러나 앞서의 가정들에 대한 실질적인 검증은 현재로서는 불가능하며 향후 후행 핵연료주기 분야의 기술개발의 정도나 Pu관리 및 활용에 대한 국제사회의 합의 등 국제정치상의 여러 변수들이 향후 후행핵연료주기사업의 추진 전략이나 방향에 크게 영향을 미칠 것으로 보인다.

끝으로 방사선과 원자력이 인류에게 의미하는 여러 이익 및 위해 등의 다양한 측면을 고려하더라도, 에너지 및 환경보전 등 유관 기술 발달 정도를 볼 때 현재 세대뿐만 아니라 향후 세대에게도 여전히 원자력산업이 지속가능하리라는 확신은 자명하다. 현재 원자력의 높은 기술수준, 향후 고유 안전성 확보 및 방사성폐기물발생 저감화 등을 중점 추진하는 차세대 원자력기술 개발의 실현 가능성, 석유 및 천연가

스 등 국제 에너지자원 확보에 따른 주변 국제 환경의 급격한 변화 등에 대한 국민 이해의 깊이가 사용후핵연료 관리 정책에 대한 우리의 최종 선택에 도움을 줄 수 있는 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

- [1] 제 3차 원자력장기진흥종합계획. 3차안, 2006.
- [2] IAEA-TECDOC-1467, "Status and Trends in Spent Fuel Reprocessing", IAEA, 2005.
- [3] NEA/RWM(2005)10/prov, "The Roles of Storage in the Management of Long-lived Solid Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel", OECD/NEA, 2005.
- [4] IAEA, "Proceedings of International Conference of Storage of Spent Fuel from Power Reactors", IAEA, 2003.
- [5] IAEA "Radioactive Waste Management-IAEA Source Book", IAEA, 1992.
- [6] D.C. Stewart, "Data for Radioactive Waste Management and Nuclear Applications", John Wiley&Sons, New York, 1985.
- [7] A. A. Moghissi et al. "Radioactive Waste Technology", ASME, 1986.
- [8] IAEA-TECDOCs, "Spent Fuel Management: Current Status and Prospects 1991, 1993, 1995 1997," Regular Advisory Group Meeting on Spent Fuel Management, IAEA.
- [9] IAEA-TECDOC-1433, "Remote Technology Applications in Spent Fuel Management", IAEA, 2005.
- [10] 박원재, "Present Status and Future of Spent Fuel Management(1)" J. Korean Asso. Radiat. Prot., Vol.21, No.1, 1996.
- [11] F. Takats, "International Status and Trends for Spent Fuel Management, JNMM, April 1994.
- [12] IAEA, "2nd National Reports of the Joint Convention", <http://jcweb.iaea.or>, 2005.
- [13] Forum on Stakeholder Confidence (FSC)

workshop: Dealing with interests, values and knowledge in managing risk, Nuclear Energy Agency, 2003