핵확산 방지를 위한 사용후 연료의 국제적 관리

Chauncey Starr
미 전력연구원(EPRI) 창시자 · 명예 원장

원자력 발전 시설에서 방출되는 사용한 연료의 저장은 국제적인 이슈가 되어 왔다. 이 이슈의 핵심에는 핵무기 재원을 얻기 위한 미래 정부의 예상 밖의 충동에 대한 대중적 염려가 있다.

자연적으로 저장된 연료는 몇몇 완전히 방사되고 오래된 연료 원소들부터 핵무기를 위한 화학적으로 분리된 플루토늄을 얻을 은밀한 기회를 제공한다.

그런 가능성은 부주의하게도 평화로운 시대의 원자력 발전 산업에 대한 부정적인 인상을 만들어 왔으며 몇 나라에서는 대중적 반발을 불러일으키기도 했다.

국가적 프로그램이 원자력 발전 시설로부터 사용되어진 연료의 화학적으로 비분리적인 원소들을 핵무기의 재원을 위한 자료로 사용한 않을 유일한 방법은 사용되어진 연료를 국가적 통제로부터 이탈시키고 중립적인 국제적 기구가 그 책임을 맡게 하는 것 뿐이다.

국제 감시 재활용 저장 시스템(IMRSS)은 원자력 발전 국가들에서 현재의 사용후 연료 관리 추세에 대한 보다 안전한 대안 제공을 제안하여 왔다. 즉 21세기에서의 대중적 건강과 핵무기 증식 양자에 관한 보다 안전한 대안이다.

IMRSS 개념은 가장 넓은 의미에서 국제적 기구를 통해 발전소에서 사용한 이후의 사용후 연료의 관리가 이루어져야 한다는 것이다.

본고에서는 IMRSS의 기본 개념과 실행 계획을 제시하고 현재 시점에서 사용될 수 있는 실행안을 논의할 것이다.

서 론

많은 나라에서 개발된 원자력 시스템의 발전으로 인해 원자력발전소에서 사용후 배출된 사용후 연료의 처리에 대한 부담이 문제로 대두되었다. 예를 들면 연료 주기의 후행, 선-후행주기, 원자로와 냉각지(cooling ponds)에서 연료가 머무는 시간이 길기 때문에 콘크리트 캐스크(casks)에서의 임시 현장 저장으로 인해 영구 처리하는 문제를 쉽게 연기할 수 있었던 것이 사실이다.

많은 나라에서 이것은 국가 정책의 문제로 귀결되었으며, 여기에 사용후 연료의 영구 처리가 핵무기 확산과 연관될 가능성도 배제할 수 없다.

핵연료 사이클의 가장 초기 개념은 사용후 연료의 화학적 처리를 통한 것으로, 사용되지 않은 우라늄을 추출하고 원자로에서 생성된 플루토늄을 새로운 연료로 재활용하는 방식을 추구하는 것이었다. 이 경우

에는 핵분열 생성 잔여물을 지하 깊숙히 매립해야 한다.

재활용은 채광된 우라늄으로부터 많은 잠재 에너지 요소를 충분히 활용할 수 있는 장점을 지닌 기술적인 순서를 보여주고 있다.

그렇지만 플루토늄을 화학 분리 과정에서 변이시킬 수 있는 가능성으로 말미암아 원래의 재활용 개념에 대한 반론이 제기되었으며, 사용후 연료를 별도의 재처리 없이 직접 지질층에 매립하는 '일회 통과(one-through)' 개념이 제기되었다.

이것은 또한 기술적으로 실현 가능성이 있는 계획으로 미국의 유카산 저장 시설(US Yucca Mountain storage facility)이 이러한 목적으로 건설되었다.

원자력에 찬성하는 쪽에서는 이 개념을 바람직하지 않다고 받아들이고 있다. 왜냐하면 이것은 사용될 우라늄 광석이 갖고 있는 에너지 요소 가운데 지극히 일부만 활용하게 되기 때문에 미래의 낮은 가격의 우라늄 공급 가능성이 앞으로 다가올 시대에 있어 원자력 확장의 장벽이 될 가능성이 있다는 것이다.

따라서 이 백-엔드(the back-end) 선택은 다음 세 가지 개념과 관련된다.

첫째, '재활용', 둘째, '일회 통과 once-through', 셋째, '플루토늄 변이' 이다.

'재활용' 은 원자력이 바로 다음 세기의 에너지원이라고 생각하는 친원자력계가 선호하는 방식이다.

'일회 통과 (once-through)' 는 반원자력 운동 단체의 선택이다. 왜냐하면 이렇게 해야 원자력이 궁극적으로 종식되기 때문이다.

'플루토늄 변이' 는 반플루토늄 그린피스 운동과 반원자력 단체들로부터는 위협적인 무기로 비추어지고 있다.

이러한 개념은 각각의 단체 내부에서는 의례적인 독트린의 성격을 띠게 되었고 이것이 바로 원자력에 대해 개별 단체들이 제시하는 대중에 대한 입장의 근저에 있는 원칙으로 자리를 잡았다.

보건 및 안전성의 문제는 수사적인 표현을 통해 공포를 일으킬 수는 있겠지만 기술적인 근거는 빈약하며, 전세계에 퍼져있는 약 400여 개의 원자력발전소가 아무런 문제없이 조용히 가동되고 있는 현실을 반영해 볼 때 대중에 대한 영향력이 가장 큰 부분은 아닌 것으로 판단된다.

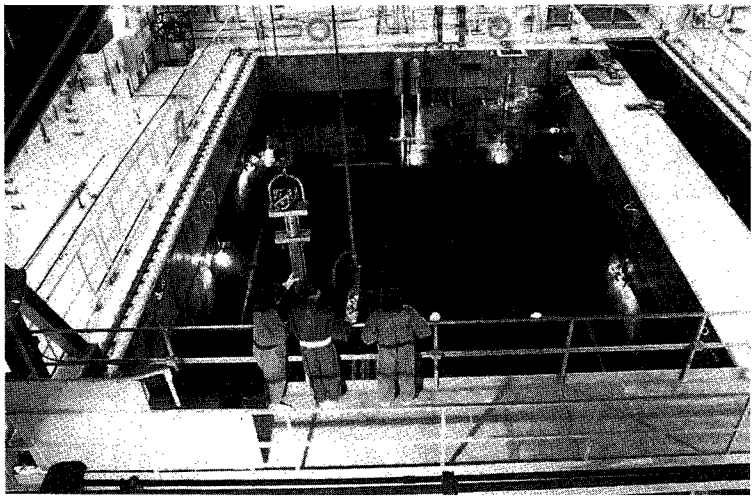
재활용과 일회 통과(once-through) 가운데 선택해야 하는 딜레마에 봉착한 국가의 정책 결정자들이 현실적으로 선택할 수 있는 방법을 제시하기 위해 우리의 동료인 Wolf Hafele 박사 (독일 Rossendorf에서 정년 퇴임한 전임 국장) 와 본인은 과거 5년 동안 개최된 회의나 워크숍에서 연료 사이클의 백엔드의 평화적인 관리에 대한 국제적 접근법을 제안하고 있다. 이것을 「국제적으로 감시된 회복 가능한 저장 시스템 (IMRSS)」이라고 이름 붙였다.

우리는 이렇게 제안된 국제적 노력이 앞으로 다가올 원자력 시대에 있어 실제적 세계 평화를 향해 나아가는 일종의 전기를 마련할 수 있을 것으로 믿고 있다.

우리는 영구 지질적 저장, 그리고 증식기(breeder)를 이용한 재활용이 갖고 있는 상대적 장점을 심도있게 논의하지는 않겠다. 우리는 이 두 가지 모두가 기술적으로 현실 가능하며 현실적인 가치를 구현해 보여야 한다고 생각한다. 그렇지만 이 두 가지 사이에는 핵 비확산이라는 목적에 관련 될 수 있는 근본적인 차이가 존재하고 있다.

지질적 저장은 Pu mine을 생성하고 따라서 이것인 언제나 핵 무기 물질(1)로 사용될 수 있는 잠재적인 자원이 된다는 것이다. 따라서 개별 매립지에 대한 영구적인 감시가 있어야만 국제 사회가 신뢰할 수 있을 것이다.

이와는 대조적으로 증식기 재활용은 기존의 Pu를 연소하는데 성공하였다. 그렇지만 재활용에 있어서는 운영에 대한 감시를 필요로 하는 물질 변이 가능성이 재활용 과정 가운데 일어날 수 있다는 가능성이



사용후 연료 저장조. 세계적으로 사용후 연료가 급속히 증가됨에 따라 제1세대 원자력 발전소가 폐쇄되고 기존의 원자력 용량이 증가할 때에는 보다 많은 저장 관련 위기가 발생될 것이다.

있다.

우리는 매립이 앞으로 다가오는 세대에 의무를 지워주는 일이기는 하지만 이 두 가지 선택 가운데 어떤 것도 받아들일 수 없는 경제적 부담을 초래하지는 않을 것이라고 생각한다.

세계적으로 사용후 연료가 급속히 증가됨에 따라 제1세대 원자력 발전소가 폐쇄되고 기존의 원자력 용량이 증가할 때에는 보다 많은 저장 관련 위기가 발생될 것이다.

이와 같이 국가적으로 지정된 특별한 발전소 부지에서 가속화되고 있는 저장 캐스크가 위태로운 세계적 혼합 형태를 초래하여 받아들일 수 없는 대중적 위험과 안보상의 불확실성(1)으로 귀결될 수도 있다.

세계 전력 생산은 앞으로 50년 동안 적어도 4배가 늘어날 것이며 이것은 대체로 개발 도상국에서 발생할 것이라고 일반적으로 추정되고 있다.

원자력의 성장률은 추정치에 불과하지만 이들 개발 도상국에서는 원자력의 증가율이 다른 에너지원을 앞설 것임을 짐작하는 것은 어렵지 않다.

우리의 IMRSS 제안은 오늘날 우리가 사용하고 있는 장기적인 대안으로서의 처리 기술이 성숙될 때까지 시간을 벌기 위해 저장 연료의 임시 창고를 기존의 기술과 운영 자원 및 표준을 활용해 국제화하는 것이다.

궁극적으로 상호 안전을 위해 필요한 기준이 발전될 수 있도록 세계적인 합의에 이를 때까지 그 방식을 사용할 수 있을 것이다. 이렇게 함으로써 지원을 위한 정치적인 틀을 형성하기 위한 외교적 노력과 병행될 수 있다.

명백히 개별 국가들의 민족주의를 극복하는 것은 어려운 과정이 될 것이지만 비확산조약(Non-Proliferation Treaty,NPT)은 훌륭한 선례가 되고 있으며 국제원자력기구(IAEA)와 세계원자력발전사업자협회(WANO) 등은 외교적 노력의 선구자가 되고 있다.

우리는 IMRSS 제안이 실현 가능한 것이라고 판단하는데 이는 실시간이라는 이점을 참가자들이 누릴 수 있기 때문이라고 본다. 우리는 만약 몇 개의 핵 보유국이 선두적으로 주창해 나간다면 모든 나라들이 궁극적으로 자국의 이기주의를 극복하고 동참할 것이라고 긍적적인 기대를 갖고 있다.

이것은 태평양 연안 국가들에게는 현재의 저장고 필요를 충족시키고 지층 저장에서 가능한 장기적인 무기 개발 가능성을 줄여 나가는 가장 직접적인 기회가 될 수 있다.

IMRSS 컨셉트

국제적으로 감시되는 회복 가능한 저장고 체제(IMRSS)는 현재 계획하고 있는 목표와 균형을 이루는 중간 단계라고 할 수 있다.

가장 축약된 형태로 이 개념이 제안하는 것은 참여국들이 새로운 국제 기구를 형성하여 기존의 냉각지에서 발생되는 사용 연료에 대한 운영 관리의 책임을 맡아야 한다는 것이다.

또한 적은 수의 지표면(또한 지표

면 근처) 저장 시설을 전세계가 활용하도록 이에 필요한 운반 수단을 제공해야 한다는 것이다. 국제원자력기구는 감시 기준을 유지할 수 있는 확인에 대한 책임을 지게 될 것이다.

경제적이고 정치적인 준비 과정이 세계적으로 지점을 갖고 있는 국제 은행의 업무 준비와 비슷한 과정을 밟을 필요가 있다. 각국은 사용후 연료에 대한 명칭을 유지하고 이것을 평화적 목적으로 포기할 수 있어야 한다(예를 들면 재활용이나 매립).

투명성, 분명한 책임 소재, 그리고 저장된 모든 물질에 대한 안전 보장은 실시간을 기본으로 하여 기존의 기술을 활용하여 참가국들에 의해 검증되어야 할 것이며, 그것을 통해 각국이 다른 참여국이 무엇을 하고 있는지 파악할 수 있게 될 것이다.

모든 활동은 스스로 감당할 수 있는 상업성을 근거로 진행되어야 하며 발전소를 통해 생산한 전력 1MWh(예를 들면 미국에서는 1MWh당 1달러)를 기준으로 비용이 책정되고 이를 기반으로 하여 자금을 충당할 수 있다. 국제 조직은 다자간 또는 각국의 계약을 통해 이것을 적용할 수 있을 것이다.

이 제안에 대한 실질적인 세부 사항은 세 개의 국제 워크숍에서 논의되고 있으며 미국 국방부 및 에너지부(2)에서 실시한 검토 결과 긍정적인 평가를 받았다. 이는 또한 러시아의 사로브(첼랴빈스키-70)에서 열린 세미나에서도 논의된 바 있다(3).

IMRSS 제안은 사용된 연료를 국제적 기구를 통해 일상적으로 관리하기 위해서는 대중의 신뢰가 필수적이라는 것을 인지하고 있다. 이러한 국제 기구는 이 저장 프로그램에 참여하는 국가의 대표자가 이사회를 구성하게 될 것이다.

핵 분쟁에 직면하고 있는 국가가 있다면 이 양쪽 국가는 IMRSS 이사회의 구성원이 될 것이며, 언제나 상대국의 사용후 연료 처리 실태를 실시간으로 확인할 수 있게 될 것이다.

IMRSS에 의해 제안되는 운영 실시 방침은 특히 개별 국가들이 자의적으로 변화시킬 수 없도록 되어 있다.

저장고 위치에 대한 질문은 아직은 확실한 해답을 찾지 못했다. 우리가 이전에 진행했던 논의에 근거해 말하자면 이것은 IMRSS와 같은 국제적 접근법이 정부들이 함께 구성한 컨소시엄을 통해 시작될 수 있다고 생각한다.

국가들의 민족주의 장벽을 극복하는 것과 임시 저장고를 수용하는 방향으로의 인식 전환은 단계적으로 서서히 가능할 것이다. 그리고 이를 통해 사용후 연료의 저장을 사업으로 인정하는 상용화 계획에 대한 물꼬가 트이게 될 것이다.

우리는 경쟁적인 저장고 입지 관련 제안이 앞으로 쏟아져 나올 것이라고 생각한다.

IMRSS는 사용후 연료 저장을 군사적으로나 대중 보건의 시각에서 위협이 되지 않는 형태에 입각해 전세계가 받아들일 수 있는 가장 이상적인 방식으로 최적화 하도록 고안된 것이며 또한 경제적인 측면에서는 자체적으로 유지 가능하고 다음 세기에도 또 그 이후에도 안전성을 유지할 수 있도록 구성된 것이다. 그러므로 상당히 제한된 범위이기는 하지만 BNFL과 COGEMA가 이러한 특성을 가진 제한된 저장고 서비스를 제공하고 있는 것은 매우 고무적인 일이라 하겠다.

제 언

장기 저장고 제안과 관련된 비판적인 의견이 제기됨에 따라 각국 정부들이 미래에 있을 수도 있는 전쟁에 대비하여 플루토늄을 군사적인 목적으로 확보하려 할 수 있다는 가능성에 대한 대중의 불신이 커지고 있다.

어떤 국가를 막론하고 대중은 전쟁을 원치 않는다. 하지만 정치적 선동자들이 상황을 전쟁으로 몰고 갈 수도 있다는 것을 두려워하고 있다. 예를 들면 최근의 인도와 파키스탄의 분쟁과 같은 것이다.

우리는 상당한 기술적 재원을 보유하고 있는 국가가 그렇게 하려고 결정을 한다면, 궁극적으로는 민간 대중의 원자력발전소의 재원 없이도 핵무기를 제조를 위해 필요한 물질을 만들어 낼 수 있음을 인정해야 할 것이다.

기술은 열려진 장이므로 좋게도 나쁘게도 사용될 수 있다. 그렇지만 독자적인 군사 프로그램을 숨기는 것은 매우 어려울 것이다. 한 국가에 의해 저장된 사용후 연료는 플루토늄을 얻기 위한 대안으로서 비밀리에 운영될 수도 있다.

사용후 연료를 재활용하거나 매립하거나 어쨌든 필요한 것은 이 장벽을 다양하게 변형하여 군사적 계획에서 민간 사이클을 활용하지 않도록 확실히 보장하는 것이다.

국제적 관리를 통해 이러한 변이에 대해 실제적으로 그리고 외교적으로 또 하나의 장벽이 마련될 수 있다.

다음 단계로는 연료 주기의 선행과 후행 주기(the front end of the cycle)에 대해 새로운 연료를 제조하는 국가들에 대해 동일한 관리 방식을 적용해 우라늄 농축과 플루토늄 재활용 시설을 관리할 수 있을 것이다.

대부분의 선행 주기 활동은 이미 상용화되었으며 그렇기 때문에 국제적 상용화 연료 사이클 컨소시엄에 포함시키는 것은 상대적으로 용이하다.

완벽하게 국제적으로 관리되는 연료 사이클, 선행 주기와 후행 주기는 군사 무기를 원자력에서 분리해 나갈 수 있도록 확실한 보장을 해 줄 것이다.

사용후 연료는 대립되는 정치적 목표로 인해 갈등을 겪게 될 수도 있다.

환경 보호론자들은 사용후 연료가 사라지기를 희망한다. 그러나 저장이나 재활용 컨셉트에 대해서는 회의론을 제시한다.

이와는 대조적으로 국가들은 사용후 연료의 미래에 대해 의견을 일치를 이루어 내지 못한다(영구 처리와 플루토늄을 연료를 재활용해야 한다는 의견으로 양분되어 있다). 기술 전문가들은 영구 처리 계획의 장기적 매립 형태에 대해 확신을 갖지 못한 상태이다.

IMRSS는 이러한 입장의 현실성을 존중하고 받아들이고 있으며 우리가 더 많은 경험과 지식, 그리고 협력을 통해 해결책을 찾아 낼 때까지 앞으로 한 세기를 유지할 수 있는 계획을 마련하였다.

핵심은 우리가 앞으로 다가올 수십년 동안 사용후 연료를 안전하게 저장해 놓는 것이, 현재로서는 불안하기 그지없는 후행 주기를 도입하거나 그 대안으로서 혼란과 또 아무것도 하지 않는 사고 방식으로 혼란을 조장함으로써 영구적인 위험을 초래하는 것보다 더 낫다는 것이다.

IMRSS는 영속적인 해결 방안으로 제시되는 것이 아니라 문제를 해결할 능력을 완전히 갖출 때까지 시간을 연장시키는 수단으로 제기된 것이다.

이것을 받아들이게 되면 장기적인 해결책을 계속해 발전시켜 나갈 수 있으며 이에 따라 사람들이 이 두 가지를 병행할 수 있다는 것을 받아들이게 될 것이다.

그러므로 우리의 목적은 장기적인 해결 방안이 마련될 때까지 안심할 수 있는 방법으로 시간을 벌자는 데 있다.

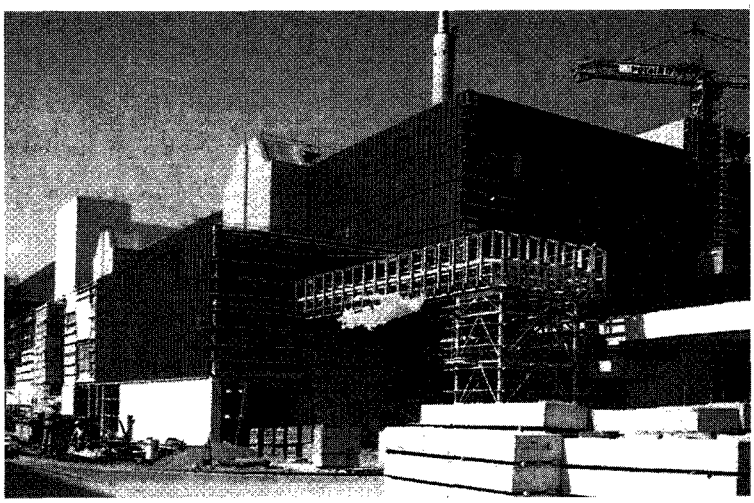
IMRSS는 세계 평화, 대중의 안전, 원자력 관련 활동에 대한 대중의 지원을 고양시킬 수 있는 긍정적인 단계를 제안하고 있다.

원자력 시대는 이미 도래하였고 계속 성장하고 있다. 두려움으로 중단하기에는 그 가치가 너무 크다.

IMRSS는 현재 정치적으로 그리고 기능적인 운영 면에서도 실현 가능한 사용 연료 관리 모델이다.

필요한 것은 각국 정부가 협력하여 계획을 세우고 궁극적인 실현을 위해 협상을 시작해 나가는 것이다.

태평양 연안 국가들은 계속 증가하고 있는 사용후 연료에 대한 관리 필요를 점점 더 크게 느끼고 있다. 지금이 바로 IMRSS를 이 지역에 창설할 수 있도록 정부간 대화를 시작해 나가기에 가장 적합한 시기라



영국의 재처리 공장 Throp. IMRSS 제안은 사용된 연료를 국제적 기구를 통해 일상적으로 관리하기 위해서는 대중의 신뢰가 필수적이라는 것을 인지하고 있다. 이러한 국제 기구는 이 저장 프로그램에 참여하는 국가의 대표자가 이사회를 구성하게 될 것이다.

고 생각한다.

SAIC 보고서의 마지막 문장에서 (2) 언급한 바와 같이 미국에서는 최소한 시기가 무르익었고 기타 다른 나라들과 협력하여 이 보고서에서 논의되고 있는 형태에 대한 논의를 통해 IMRSS나 혹은 이와 유사한 방식의 국제적 체제를 개발시켜 나가고 보다 발전된 형태의 원자력 관리의 국제화를 향한 다음 단계로 진행되어 가도록 충분한 동기를 부여할 수 있는지 여부를 결정해야 한다는 의견을 제시하고 있다.

(1) 가장 확실한 첫 번째 원칙으로, 개별적으로 1GW 현대적인 발전소(modern plant produces)에서 연간 약 20 metric 톤의 사용후 연료가 생성되고 있으며 그 가운데 약 1%는 플루토늄 성분을 갖고 있다.

대형 저장고는 액 10 메트릭 톤의 금속 우라늄을 보유할 수 있도록 만들어졌고 약 100 킬로그램의 분리되지 않은 플루토늄을 저장할 수 있으며 이를 사용해 몇 기의 핵무기를 제조하기에 충분할 정도의 재원이 된다.

우리가 판단하는 바에 따르면 수용할 만한 국가의 사용후 연료 프로그램(예를 들면 Yucca Mountain)이 실제로 운영되기 위해서는 수십 년의 시간이 걸릴 뿐 아니라 개발도상국에서는 더 오랜 시간을 필요로 한다.

물량적인 관점에서 살펴 보았을 때 2060년이 되어야 전 세계의 3,000개의 발전소에 건설된 저장고가 100,000개 이상에 이르게 될 것이며 그 중 절반이 개발 도상국에 건설될 것이다.

따라서 핵무기를 보유하지 않는 국가가 단 한 개의 캐스크를 꺼내는 것도 명백한 우려를 자아내기에 충분하다.

우리가 우려해야 하는 문제는 저장 캐스크의 양이 아니라 존재하지 않도록 또는 질이 떨어지는 것인지를 계속해 감시해야 한다. 만약 캐스크를 잘못 관리하게 되면 그 보건상의 피해나 확산 위험을 한 국가에 국한된 것이 아닐 것이다.

(2) 국제화된 사용후 연료 저장고: 컨셉트, 이슈, 그리고 대안 (Concept issues and Options): Lewis A. Dunn & Stephen Carey; Science Applications International Corp (SAIC); Feb. 25, 1998

(3) 계속 증가하고 있는 사용후 연료의 구성 요소 및 플루토늄에 대한 신중한 관리 (Prudent Management of the Ever Increasing Amounts of Spent Fuel Elements and Plutonium): 국제적으로 감시되는 복구 가능한 저장 시스템 (The Concept of an Internationally Monitored Retrievable Storage System) Wolf Hafele & Chauncey Starr; International Science and Technology Center (ISTC) Scientific Advisory Committee Seminar, Sarov, Russian Federation, 22-25 June 1998.