

# 21세기의 이슈에 대한 프랑스의 대응

필립·루빌

프랑스원자력에너지위원회 사무국장

**나**는 오늘 국제사회의 안전한  
요소의 하나인 원자력에너  
지의 역할에 대하여 논하고  
자 한다.

사실 에너지는 평화와 안정의 요소  
인 경제성장에 있어 필수불가결하다.

가장 권위있는 전망에 따르면 21세  
기 전반에는 전세계 에너지 소비량이  
적어도 지금의 두배는 될 것으로 보고  
있다.

1973년과 1979년 두 차례에 걸친  
심각한 경고에도 불구하고, 석유와 천  
연가스는 구하기도 쉽고 상대적으로  
비싸지도 않다.

이러한 사실은 적어도 선진국에서  
는 언제까지나 에너지가 풍족할 것이  
라는 생각을 갖게 한다.

1970년대의 일반의 두려움은 에너  
지부족에 대한 위협이었으며, 결과적  
으로 석유파동으로 이어졌는데, 지금  
은 생태학적인 문제에 더 많은 관심을  
기울이고 있다.

원자력산업은 위험한 것으로 인식

되고 있으며, 이러한 감정은 체르노빌  
사고 이후 급격히 증가되었다.

결과적으로 동남아시아와 프랑스의  
특별한 경우를 제외하고는 전세계에  
걸쳐 원자력에너지에 대해 흥미를 잊  
어가고 있음을 알 수 있다.

원자력에너지 전망에서 볼 때 이러  
한 상황은 내가 말하는 실상에 대한  
두 가지 오해에서 기인한다고 하겠다.

첫째, 저렴한 천연자원의 풍족함인  
데 실제로 지난 20년간 별다른 특별  
한 자원의 발견이 없었다.

더욱이 비교적으로 저렴하고 엄청  
난 석유자원이 지구상의 한 지역에 편  
재해 있으며, 이러한 상황은 또 다른  
취약성을 낳고 있다.

둘째, 생태학에 관한 것으로 정상운  
전하에서 원자력발전소는 어떤 화석  
연료발전소보다 환경에 대한 위험이<sup>1</sup>  
훨씬 적다.

장수명 원자력폐기물에 대한 문제  
자체는 기술적인 문제가 아니다.

얼마간의 연구와 개발이 필요하지

만 해결방법은 이미 알려져 있다.

그러나 국민의 관심이 기술적인 면  
과 관련이 있느냐 하는 것은 문제가  
되지 않는다.

우리는 사실을 있는 그대로 받아들  
이고 처리하는 법을 배워야 한다.

주요문제들이 해결되고 또 해결될  
것이라는 전문가들의 확신만으로는  
불충분하다.

우리는 국민적 합의를 도출해야 하  
며 이것은 우리 앞에 놓인 새로운 도  
전이자 해결해야 할 문제이다.

물론 국민적 합의를 얻기엔 정보가  
부족하다. 나는 성공적으로 다루어져  
야 할 세가지 문제점에 대해 언급하고  
자 한다.

안전성, 연료주기의 재처리문제 해  
결 및 최적의 플루토늄관리방안 모색  
이 그것이다.

우연히도 모든 원자력보유국들은  
이러한 도전에 직면해 있고 또 현재  
국제협력이 요청되고 있다.

한 사람의 성취가 모든 사람에게 혜

택이 될 수 있듯이, 한 사람에게 발생된 문제가 모든 사람의 관심거리가 될 수도 있다.

잘 아시다시피 프랑스 원자력발전은 프랑스 전체발전량의 약 77%를 점유하고 있다.

이러한 업적을 달성하는데 결정적 역할을 했다고 내가 믿고 있는 프랑스 시스템에 관한 세 가지 일반적 특성에 대해 간단히 언급하고자 한다.

첫째, 장기적인 측면을 지속적으로 높이 평가하고 있다.

이러한 원칙은 에너지자원 부족 위협이 발생할 것 같은 석유파동중에 고속증식로와 사용후연료의 재처리기술 개발을 선택하게 되었다.

둘째, 프랑스 프로그램의 성공은 확실히 고도의 표준화 덕분이며 이는 최선의 경험들을 원자력발전소의 비용과 안전성 향상에 피드백시키게 하였다.

셋째, 프랑스 원자력시스템은 각기 다른 기능, 즉 원자로건설, 설비, 연료 주기, 허가, 폐기물관리, R&D별로 별도의 기구가 관리하는 상황으로 점차 변화되어 왔다.

관공서의 역할은 안전규범과 같이 전략적 측면에서 지침을 제정하는 일 등이다.

1991년 12월 프랑스 의회가 제정한 고준위폐기물관리법이 있는데 이 법은 15년 이내에 폐기물관리의 최종적 선택을 위한 절차를 정해놓은 것이다.

이 법은 민감한 사안으로 국민적 합의를 구하는 거국적 논의 후에 투표에 붙여졌다.

두개의 대규모 연구프로그램인 CEA와 SPIN(소량·엑티나이드의 분리 또는 소각) 및 CAPRA(개량형 고속증식로속의 플루토늄을 더욱 감소하기 위한 개념)가 결과적으로 개발되었는데, 이 고준위폐기물관리법은 의사결정과정에 있어 하나의 커다란 획을 그은 것으로 간주될 것이다.

다음에는 연구개발프로그램의 주요 지침에 대해서 살펴본다.

## 경제적 경쟁력

### 1. 비용절감

원자력에너지의 경쟁력은 표준화된 발전소가 적절한 체계하에서 건설되고 운전절차가 엄격히 지켜지는 만큼 나타나게 된다.

그러나 이익은 1980년대 초 아래 감소되어 왔으므로, 원자력에너지의 이점을 확인하기 위해서는 경쟁력제고방안을 지속적으로 강구해야 한다.

프랑스의 이러한 경쟁력은 해체·폐기물관리 등 외부비용을 포함하여 계산한 것으로 1993년에 실시된 조사보고서에 따르면, 석탄이  $0.288\text{F}/\text{kWh}$ , 가스가  $0.294\text{F}/\text{kWh}$ 인데 반해, 기저부하용 원자력전기 공급비용은  $0.241\text{F}/\text{kWh}$ 이었다.

연료주기비용의 1/4은 사용후연료 처리에 쓰였으며,  $\text{kW}\text{당 }1\text{cF}$ 였다.

해체비용도 포함되어 있는데 이는 총투자비의 15%, 1차계통비용의 약 50%에 해당한다.

### 2. 평균수명연장 및 이용률 향상

원자력은 자본 집약성이 강하므로 경쟁력을 제고하기 위한 최선의 방안은 평균수명의 연장 및 이용률을 향상시키는 것이다.

EDF는 목표달성을 위해 다음과 같은 두가지 프로그램을 수정하였다.

첫째, 기동성 프로그램은 2000년 까지 기동률 목표를 85%로 잡고 있다(1994년 81.2%). 50개 이상의 운전중인 발전소를 가지고 단지 2%의 기동률 증가는 1기의 총생산량에 해당한다.

둘째, 수명 프로그램의 결과에 의하면 오늘날의 원자로는 30년간의 내용연수로 설계되었는데 아마 40년 ~ 45년은 같 것이다.

미래의 발전소는 적어도 40년 또는 그 이상 신뢰성 있게 운전될 수 있도록 설계하여야 한다.

이것은 예컨대 보수운전기술의 향상과 경험의 피드백을 통해 가능하다.

수명을 길게 하기 위해서는 개량된 자재, 노후가 덜 되고 방사능 피해가 적으며, 부식이 잘 안되는 비활성적인 측면의 장점을 충분히 이용하여야 한다.

### 3. 연료주기

현저한 비용절감은 역시 연료주기로부터 가능하다.

레이저 분리농축법의 목표는 투자비를 포함, Eurodif 발전소의 절반수준의 단위질량당 분리비용(SWU)에 도달하는 것이며, 가능성은 2000년 이전에 입증될 것으로 기대된다.

연료연소도의 증가 역시 비용절감에 기여할 것이다. 평균 방출연소도가 중금속의 경우 초기에 33,000MWd/t였지만, 이미 47,000까지 도달하는 것이 가능하다.

프랑스의 R&D 목표는 15년 이내에 60,000까지 도달하는 것이다.

연료주기의 후행핵주기에 관해서 중·저준위 폐기물량을 감소시킴으로써 비용을 가장 크게 줄일 수 있다.

최근에 성취한 업적이라면, 직접저장보다 약간 적은 1m<sup>3</sup>/t만 생산하는 것으로 우리가 기대하는 목표는 2000년까지 0.3m<sup>3</sup>/t이다.

## 안전성

미래의 원자력에너지를 위한 그밖의 주요문제는 물론 안전성이다.

1960년대와 1970년대에는 노심용융가능성을 점차 감소하기 위한 문제에 초점을 모았다.

이것은 허용범위내에서 공중에 대한 잠재적 결과와 관계가 있는 사고의 발생확률로 표현되는 것으로, 총체적 위험방지를 목적으로 하는 소위 확률적 접근방식이다.

바꿔 말해 이러한 노력은 노심용융 위험을 낮추는 것이었으며, 결과적으

로 노심용융의 결과에 대한 연구는 할 필요가 없게 되었다.

TMI사고 이후 노심용융사고확률을 근원적으로 줄이기 위해, 예를 들면 피동적 안전성같은 새로운 방식을 채택하게 되었지만, 근본적으로 확률론적 접근방식이 바뀐 것은 아니었다.

체르노빌 재앙이 경수로에서 발생된 것은 아니지만, 원자력의 안전성에 대한 대중의 신뢰성을 뿌리채 훈들리게 되었다. 이 사건으로 프랑스와 독일 전력사와 당국에서는 미래의 원자로에 대한 새로운 요구조건을 규정하게 되었다.

이는 노심용융확률을 훨씬 더 줄이기 위해 목표를 상향조정하고 또 사고발생확률이 아무리 낮다 하더라도 전반적으로 사고결과를 최소화해야 한다는 것이다.

확률이 어떻든 최악의 사태가 발생했을지라도 인근주민의 장기간 소개로까지 이어져서는 안되는데, 이것은 방사능이 원자로 격납건물 밖으로 대량 누출되어서는 안된다는 것을 의미한다.

이러한 목표달성을 위해서는 용융사고의 경우 다음 사항을 입증해야 한다.

- △ 압력용기 내부에 코리움(corium)이 남아 있거나(TMI상황과 같이),
- △ 만약 코리움이 용기를 통해 자체적으로 용융된다 해도 격납건물 안에 남아 있고 격납용기도 원형이 보존되어야 한다.

이러한 관점에서 매우 중요한 R&D 프로그램이 추진중에 있는데 그중 상당수가 다양한 국제협력의 틀안에서 수행되고 있다.

이들 R&D 프로그램의 두가지 목적은, △ 노심용융 진행 또는 후에 발생되는 물리적 제현상의 규명과 정형화와 △ 코리움 포획장치(corium catcher), 수소재결합기(hydrogen recombiner) 등과 같은 기술적 해결방법을 제시함으로써 노심용융사고결과의 완화를 보장하고, 환경보호도 확실히 하는 것이다.

원자력위원회는 R&D 프로그램에 깊이 관여하고 있는데, 이는 노심용융 발생후 분열성 생성물의 활동에 관한 연구(미국, 유럽연합, 일본, 한국 및 기타 국가와 함께)를 목적으로 하는 PHEBUS-PF나 용융후 노심 그 자체에 관한 연구인 VULCANO 설비와 같은 것이 그것이다.

## 고준위 폐기물 관리

1991년에 제정된 법률은 고준위 폐기물에 관한 연구체계를 규정하고 있다.

이 법에 따르면 고준위폐기물관리를 위해 국회에서의 토론과 새로운 법률에 대한 투표를 거쳐 늦어도 2006년에 최종결정을 내린다고 되어 있다.

이 조사를 위한 3가지 주요방향은 다음과 같다.

- △ 가능한한 장수명 방사성동위원

소의 분리와 핵종변환을 많이 시킴으로써 연료처리기술을 향상시키고,

△ 깊은 지하저장 가능성에 대한 연구.

△ 폐기물 패키징에 관한 연구

첫번째 문제는 SPIN 프로그램이다.

SPIN은 방사성핵종을 분리시켜서 소각하는 것을 의미한다(Separation and Incineration of Radionuclides).

SPIN 프로그램은 먼저 소량의 액티나이드와 장수명의 분열성 생성물질을 다른 고준위폐기물에서 분리하여 원자로나 가속기에 넣어서 소각시키는 것을 목적으로 하고 있다.

분리의 가능성은 이미 어느 정도 실증이 되고 있다. 네ptium(Neptunium)은 La Hague 발전소의 단순한 변경으로 분리될 수 있었다. 아메리슘(Americium), 큐리움(Curium)과 장수명 분열성물질의 분리에 관한 연구는 새로운 방식으로 추진중에 있으며, 아메리슘과 큐리움의 최초실험결과는 매우 낙관적이다.

소각에 대해서 컴퓨터코드 계산방식으로 네ptium과 아메리슘과 같은 소량의 액티나이드 핵종변환이 가능경우로나 고속증식로 속에서 가능하다는 것을 입증하였으며, 고속증식로가 더 결과가 좋았다.

이러한 연료의 성질은 1995년부터 피닉스나 슈퍼피닉스에서 실시될 실험을 통해서 밝혀질 것이다.

지하저장방식에 대해서 세개의 후

보지가 선정되었는데 그중 두곳은 실험연구장소로 곧 지정될 것이다.

앞으로 이들 폐기물 관리를 위한 최종결정을 2006년까지 내리기 위한 조사가 수행될 것이다.

것이다.

따라서 프랑스의 전략은 플루토늄의 귀중한 에너지로서의 가능성을 활용함으로써 얻은 이점을 가지고 플루토늄의 양을 전반적으로 통제하기 위해 태워버린다는 것이다.

이것은 MOX 연료를 가압경수로에 장전시킴으로써 가능해진다.

프랑스 안전이사국은 이미 EDF(프랑스전력공사)로 하여금 MOX 연료를 16개 원자로에 장전토록 허용하였으며, 이로써 반년간의 생성분보다 약간 많은 연간 6톤의 플루토늄을 태우게 된다.

MOX 연료 사용허가를 받은 발전소 수는 점차 증가할 것이다. 오늘날 프랑스의 가압경수로는 MOX 재생방식으로 운전되고 있으며, 최초의 산업 MOX 연료 성형가공플랜트인 MELLOX는 Marcoule에서 생산을 개시하였다. 1992년 La Hague에서 4.5톤을 용해시킴으로써 MOX 재처리가 입증되었다.

현재의 발전소에서는 MOX Recycle은 노심의 1/3을 MOX 달발로 장전하는 것으로 제한하고 있지만, 이들은 표준우라늄산화물다발과 함께 장전되도록 설계되어야 하므로, 앞으로 건설될 원자력 발전소는 MOX Recycle을 전면 허용할 수 있도록 설계되어야 할 것으로 믿는다.

EPR이 이러한 경우인데 EPR은 현재 프랑스와 독일간 협력체제를 안에서 개발중에 있다.

### 플루토늄 관리

내가 마지막으로 하고 싶은 얘기는 원자력 에너지로 야기되는 모든 불안을 여론의 형식으로 불러일으키는 것 같은 플루토늄관리에 관한 민감한 문제이다.

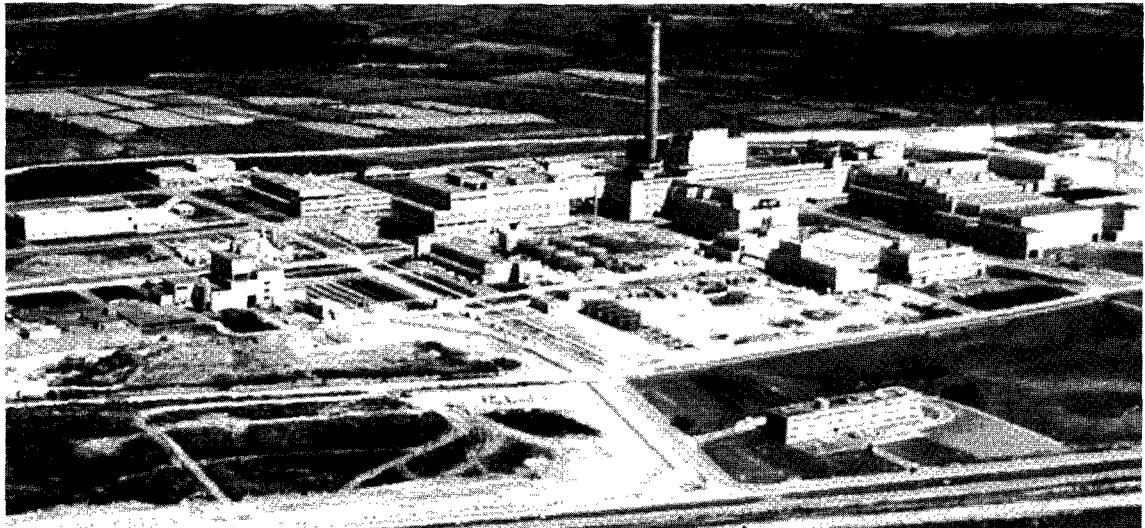
플루토늄은 통상 핵확산문제와 관련이 되는데 1995년 5월에 NPT(핵확산금지조약) 참가국들은 본 조약의 연장에 대해 결정할 것이다.

동회의 성공적인 결과는 21세기의 핵확산방지체제의 선행조건이 될 뿐만 아니라 NPT가 원자력에너지의 평화적 이용을 위한 국제교류의 기본이 되기도 할 것이다.

평화적인 원자력프로그램의 개발과 국제교역을 위해서는 핵보유국이나 비핵국들 모두가 이 조약을 이행함으로써 생기게 될 확신을 공유할 필요가 있다.

아직 플루토늄은 고가치의 에너지원이며 플루토늄 1g은 2톤의 기름과 맞먹는다.

그렇지만 단기나 중기적으로 볼 때 에너지원으로서 광범위한 사용이 필요할 때까지 플루토늄을 적절히 관리 할 수 있는 방안을 찾는 것은 중요한



프랑스의 La Hague 재처리공장

오늘날 MOX Recycle mode가 부분적으로 사용되고 있지만 표준장전 방식과 비교할 때 경제적으로 아무런 특성이 없다.

전면적인 MOX Recycle은 매우 많은 이점이 있는 것으로 판명될 것이다.

결과적으로 더욱 더 저등급 플루토늄은 고속증성자로 속에서나 사용되는 데, 고속증성자로 속에서는 표면단면 적을 포획하기 위한 핵분열비율이 훨씬 크기 때문이다.

이것은 프랑스에서 시작되고 전세계적 체제 하에 시행되고 있는 CAPRA 프로그램의 주요동기가 된다.

사용후 MOX 요소로부터 재처리된 플루토늄으로 된 실험용 소조립연료 다발이 금년 연말까지 Superphenix

에 장전될 것이다.

### 결 론

결론적으로 우리가 다시 한번 되새겨야 하는 것은 우리가 현재 에너지 부족에 대한 위협이 사라진 것같이 보이는 세계에 살고 있지만 언제까지나 그럴 수는 없다.

우리가 또한 알아야 할 것은 이러한 발상이 부분적으로는 원자력에너지가 쌓아온 업적에도 관계가 있다는 것이다.

프랑스의 경우 1992년에 수행된 여론조사에 의하면 원자력 이외의 선택이 프랑스 경제에 미치는 결과는 제3의 석유파동과 다를 바 없을 것이라는 것이다.

원자력은 홀륭한 도구이나 불행하-

게도 대중인식은 호된 시련이 되어 다른 어느 산업보다도 더 심한 국민불안과 직면해야 한다.

결론은 내가 알고 있는 한 원자력만큼이나 안전과 폐기물을 관리하는 다른 어떤 산업도 없다는 것이다.

원자력은 이제 성숙된 산업으로 지금까지 기여해온 업적에 대해 자랑해도 좋다.

원자력은 경제성장의 핵심인만큼 아시아에서의 개발은 필수불가결한 것으로 보인다.

이제 우리는 이러한 유산을 다음 세대에 남겨주기 위해서 최선을 다해야 한다.

우리는 남은 문제가 무엇인지 알고 있고 또 그 해결방법도 이미 정상궤도에 올라 있으므로 단지 추진만 하면 된다. ☺