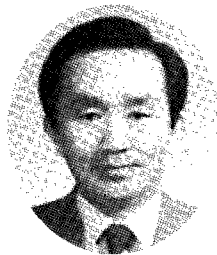


# 次世代原子爐의 開發方向

정부는 우리나라의 과학기술 수준을 2001년까지 선진 7개국 수준으로 진입시키고자 주요 국가선도 개발사업(HAN 프로젝트)을 계획하여 7개 제품기술과 7개 기반기술분야 등 14개 과제에 대한 연구기획을 완료하고, 이 중 11개 과제를 최종 확정하여 연구착수를 위한 준비중에 있다. 차세대원자로 기술개발은 HAN 프로젝트의 기반기술과제의 하나로 선정되어 1991년 12월부터 1992년 4월까지 4개월간 한전기술연구원을 주관기관으로 하여 한국원자력연구소, 한국전력기술주식회사, 신형로연구센터 및 한국원자력안전기술원이 공동으로 차세대원자로 기술개발계획을 수립하고 최종보고서를 정부에 제출했다. 본 과제는 1992년 6월 17일 종합과학심의회 총괄조정전문분과에서 HAN 프로젝트로 최종 확정됐다. 이 글은 정부에 제출된 차세대원자로 기술개발연구기획 최종보고서를 중심으로 작성된 것이다.



임 한 괘

한전기술연구원 원자력연구실장

에너지원으로서의 원자력에너지는 현재 발전용 원자로로 중심으로 활용되고 있다. 지금까지 발전용 원자로의 주종은 핵분열형 열중성자 원자로(Thermal Reactor)

이며, 같은 핵분열형 원자로이면서도 우라늄자원의 증식이 가능한 고속증식로(Fast Breeder Reactor)가 있다. 나아가서는 무한한 에너지자원으로 일컬어지는 핵융합

(Fusion)에너지 이용을 위한 활발한 연구가 추진중이며, 핵융합에너지가 실용화된다면 인류의 에너지 문제는 제약이 없는 선까지 해결될 것으로 본다.

## 원자력기술의 장기전망

고속증식로 개발을 위해서는 농축과 재처리기술이 확보돼야 한다는 전제조건이 있으며 소듐(Na) 관련기술의 개발을 필요로 한다. 농축, 재처리기술은 국제간 민감한 기술로서 이의 통제가 엄격하며 핵확산에 대한 우려로 인하여 개발도상국에서의 개발은 극히 어려운 것으로 전망된다.

현재 고속증식로는 기술적 타당성이 입증되어 운전중인 발전소가 있으나, 경제성 측면에서 기존 경수로에 비하여 2~3배 뒤지는 문제점이 있으며 이를 극복하기 위한 연구개발이 계속 진행중에 있다.

한편 국가에 따라서는 정책적으로 고속증식로의 개발을 억제하려는 국가가 있으며, 상대적으로 핵융합에너지 개발에 보다 많은 관심을 보임으로써 Thermal Reactor 기술 다음 단계의 기술이 핵융합기술로 이어질 가능성도 배제할 수 없다.

핵융합에너지는 아직도 기초연구 단계로 평가되며 핵융합 실험장치인 토카막(Tokamak)을 이용, 핵융합연료를 가열하여 1억도 이상의 고온 플라즈마를 실현하는 단계에 있지만, 핵융합로를 위해 앞으로 토카막의 연속운전, 고온을 계속 유지할 수 있는 블랭킷(Blanket)

그리고 광범위한 노재료 개발 등의 숙제가 남아있다.

이와 같이 원자력 선진국에서 대형 토카막 실험에 의한 핵융합 가능성은 입증됐지만, 실험로 건설을 통한 실증시험을 거친 후 실용화에 이르기까지는 2050년 이후이나 가능할 것으로 전망되고 있다.

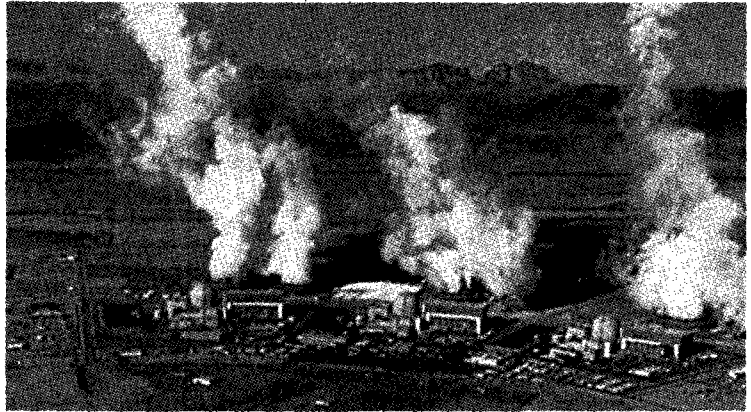
1991년 12월말 현재 세계 각국에서 운전중인 원전설비는 421기에 설비용량은 34,280만kWe에 이르고 있다. 이들 설비 중 99.6%가 열중성자를 이용한 원자로이며, 또한 열중성자로의 구성비를 살펴보면 63.4%인 238기가 가압경수로이다.

원자력에너지 이용기술개발 추진 현황 및 현재 운전중인 설비의 수명(40년)을 기준으로 보면 2000년대 중반 이전까지도 열중성자로의 이용이 지속될 것으로 전망된다.

### 세계 각국의 차세대원자로 개발동향

1979년 TMI 사고 이후 세계 각국은 TMI 사고에서의 경험사항을 원전에 반영키 위해 TMI 사고 후속조치요건(Lessons Learned from TMI Accident)을 발급하고 운전, 건설중인 발전소에 적용을 지시했다.

그러나 이와 같은 운전, 건설중인 발전소에 대한 TMI 사고 후속조치요건 적용은 Add On 개념으로서 최적화 개념이 아니며, 이로 인하여 원전설비가 지나치게 복잡해지고 건설공기의 지연, 건설공사비의 증가 등의 문제점이 유발됐



〈표 1〉 세계 각국의 차세대원자로 개발동향

국 가 별	개 발 현 황
미 국	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 기존경수로의 개량 : Sys. 80+, ABWR</li> <li>◦ Passive형 차세대원자로 : AP-600, SBWR</li> </ul>
프 랑 스	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 기존경수로의 일차 개량완료, 건설중(N4)</li> <li>◦ 독일, 프랑스 합작으로 부분보완 추진예정</li> </ul>
영 국	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Sizewell B 건설중(개량형)</li> <li>◦ 추후 연구개발방향 설정(1994년말)</li> </ul>
日 本	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 기존경수로의 개량 : ABWR, APWR, MS-300/600</li> <li>◦ Passive Safety 분야에 대한 타당성조사단계</li> </ul>

다. 이러한 문제점으로 프랑스 등 몇몇 나라를 제외하고는 원자력산업이 침체 국면을 맞게 됐다. 이는 체르노빌원전 사고를 포함한 양대 사고가 원자력산업의 침체에 직접적인 영향을 미쳤다고 하겠으나, 보다 넓은 시각으로 보면 세계경제의 침체도 한 요인이었다.

그러나 세계 각국은 화석연료의 유한성 및 화석연료 사용에 따른 공해문제와 신에너지원의 이용기술 수준을 고려할 때 대체에너지원으로서 원자력의 이용은 불가피하다고 판단하여 안전성 및 경제성이 우수한 새로운 개념의 원자로 개발을 도모하게 됐다.

이와 같은 목적으로 세계 각국은 기본적으로 원전에 고도의 자동화 기능을 부여함으로써 운전원의 조치요건을 극소화하여 TMI, Chernobyl 등과 같은 인적실수에 의한 원전사고를 근원적으로 해결하기 위한 공학적 수단을 개발하고, 아울러 최적화 개념의 설계를 추진하여 이용률 향상을 위한 노력을 추구하게 됐다.

이러한 목표달성을 위한 세계 각국의 연구개발동향은 두가지로 대별할 수 있는 바, 그 하나는 기존경수로 개념을 토대로 하되 안전계통의 개량, 자동화설비의 확대 등을 통하여 원전의 총체적 안전성을

향상시키는 방법이며, 또 하나는 피동형(Passive Safety), 고유안전형(Inherent Safety) 안전성개념 등 원전의 안전성 확보에 자연적인 물리현상을 이용한 혁신개념의 원자로를 개발하는 것이다.

해외 원자력선진국에서는 상기와 같은 신기술개념이 적용된 차세대 원자로를 2000년대 초반 상용화 목표로 신기술 개발, 핵심요소기술의 적용 및 이의 실증화에 관한 연구가 수행중이며, 기술의 입증을 위해서 선진국 상호간의 기술정보교환, 기술협력, 공동연구개발 등의 방법으로 차세대원자로 개발을 추진하고 있다.

### 우리나라 원자력기술기반

우리나라는 자원빈국으로 일찌기 1968년부터 원자력사업에 착수하여 현재 운전중인 9기, 건설중인 5기의 원자력발전 능력을 보유하고 있으며, 1991년 현재 전체 발전량의 47.5%를 원자력발전으로 공급하고 있다.

원자력사업 초기 고리 1, 2호기 및 월성 1호기는 당시 국내의 원자력사업경험이 일천하여 일괄발주(Turn-Key)방식의 기기공급계약으로 추진됐으나, 고리 3, 4호기 및 울진 1, 2호기는 국내기업의 참여범위 확대와 국산화를 제고를 위하여 분할발주(Non-Turn-Key)방식이 선택됐고, 영광 1, 2호기부터는 국내산업체주도형 건설방식을 채택하게 됐다.

현재 건설중인 영광 3, 4호기에서는 원전의 설계분야까지 국내업

〈표 2〉 원자력발전소별 국산화율

분 야		고리 1호기	고리 2호기	월성 1호기	고리 3, 4호기	영광 1, 2호기	울진 1, 2호기
설 계	원 자 로 설 비	0	0	0	0	0	0
	핵 연 료	0	0	0	0	0	0
	플랜트종합설계	5	5	17	37	44	46
기 자 재	원 자 로 설 비				9.8	18.9	
	터 빈 발 전 기				10.5	30.0	
	보 조 기 기	-	-	-	33.2	42.1	-
	종 합	8	12.8	13.9	29.4	34.8	40.2

자료 : 원자력연감 1991 한국원자력산업회의

체가 주도함으로써 우리나라에서의 본격적인 원전 종합기술자립계획이 수립됐으며, 95년까지 95%의 기술자립을 목표로 추진중에 있다.

이와 같은 과정을 통하여 현재 우리나라는 원자력발전소의 설계, 제작, 건설, 운영 등 관련 필요 원자력산업체를 확보하고 있어 원자로개발을 추진할 수 있는 기본적인 구조를 구축하고 있다.

그러나 우리나라 기술기반의 특징은 보유기술이 Copy 기술로서 융통성의 결여, 실험설비의 미비, 엔지니어링 능력의 보완 등 앞으로 차세대원자로 개발을 위하여는 많은 노력을 필요로 한다.

참고로 차세대원자로 기술개발 기획기간동안 차세대원자로 개발을 위한 국내 기술기반의 평가로서 해외기관이 관찰한 국내 기술능력에 관한 견해에는 국내 연구진이 해석학적(Analysis) 분야에는 매우 강하나, Multi-Discipline Issue와 같은 모든 분야의 전문인력이 총체적 노력을 경주하여 개발해야 할 과제에서의 Interface Control은 매우 취약한 것으로 평가하고 있어 많은 설계과정을 통하여 습득해야

할 엔지니어링 능력이 아직은 미흡한 것으로 판단된다.

또한 자체적인 평가결과 국내 기술기반이 국내에서 기초이론 개발과 자체 실험과정을 통하여 축적된 기술이 아니며 일괄도입된 기술로서 이의 활용 및 개량, 개선에 많은 어려움이 있어 이러한 제반 문제점에 대한 체계적인 검토과정을 거쳐 보안대책을 마련하는 것이 필요하다고 판단된다.

### 기술개발 추진체계

전술한 바와 같이 우리나라 국내 기술기반의 특성상 차세대원자로 개발을 위해서는 기반기술 및 엔지니어링 능력확보가 선결과제로 제시된 바 이를 보완하기 위한 노력이 수반되어야 한다.

또한 원자력발전소는 규제기관의 엄격한 심사를 거쳐 인허가를 획득한 후 건설되어야 하므로, 차세대원자로를 개발, 건설하기 위해서는 노형개발과 병행하여 규제기관에 의한 규제기술이 개발되어야 한다. 이상을 고려한 차세대원자로 개발 연구내용의 추진개념은 〈그림 1〉과

같다.

핵심기술연구는 차세대원자로 연구기획기간중 국내외 전문가의 의견 및 자문을 통해 원자력기술 전반에 대한 기술능력을 파악하고 주요 연구개발 대상분야를 선정했다. 이러한 연구개발 대상은 매우 방대한 양이며 이는 우리나라 중장기 연구개발 측면에서 고려되어야 한다. 따라서 도출된 핵심 연구개발 대상분야는 중장기계획과 연계성을 고려하여 차세대원자로 개발에 필요한 신설계 적용을 포함한 요소기술의 개발을 목표로 하고 있다.

국내 엔지니어링 보안을 위한 연구는 차세대원자로 개발 이전에 국내 원전수요를 충족시키기 위해 건설될 표준원전 설계개선을 수행할 예정이다. 1997년까지 수행될 본 연구에서는 그동안 원전건설기술자립계획 및 표준화계획을 통해 추진

돼 온 표준설계의 개선을 수행함으로써 기획기간중 제시된 국내 엔지니어링의 취약분야 능력을 향상시키는 데 그 목적이 있다.

이와 같은 노력의 결과는 차세대원자로 개발에 Feedback됨으로써 국내기술로 차세대원자로 설계를 수행하기 위한 기반을 확고히 다지는 계기가 될 것이다.

차세대원자로 개발은 본 연구의 궁극적인 목표이며 국내에서 수행해 본 경험이 없는 초대형 연구개발과제이므로 개발과정에서 많은 어려움이 예상된다. 특히 세계 각국에서 개발중인 차세대원자로 개발방향은 개량형과 피동형원자로 개발의 두방향으로 대별할 수 있고, 이에 관한 각국의 견해도 다양하다.

현재 양노형에 대한 우열의 판단은 극히 어려우며 국가에 따라서는

노형선정의 잘못으로 인하여 원자력산업이 심각한 위기에 처해 있는 국가가 있음을 볼 때, 국내개발 차세대원자로의 설계개념은 상세한 검토가 선행된 후에 선정되어야 한다고 본다.

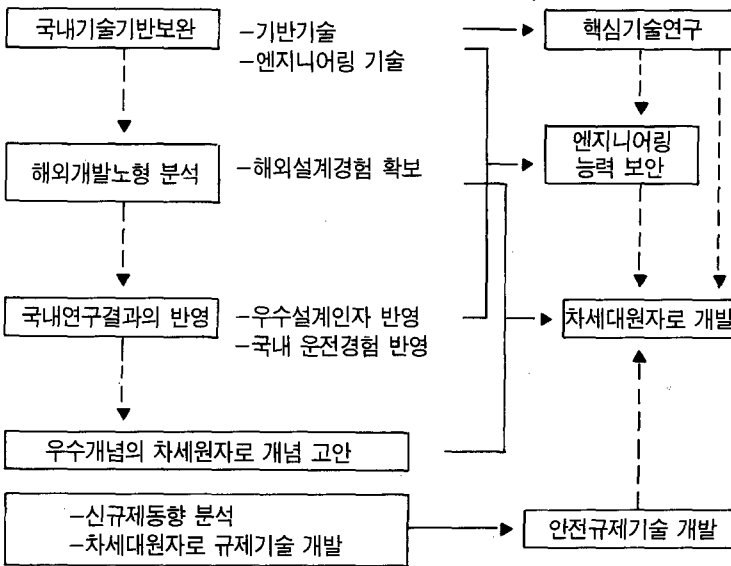
따라서 1994년까지 국내여건을 감안한 설계개념 선정과정을 거친 후 1995년부터 2001년까지 실질적인 설계업무를 수행할 예정이다.

차세대원자로는 안전성을 획기적으로 향상시키기 위하여 안전설비 신뢰도의 향상 및 단순화 적용 등 재구성, 보강하거나 새로운 개념의 도입이 예상된다. 따라서 이에 수반되는 안전성평가와 검증에 위하여는 기존 안전규제기준 및 요건의 개선, 보완과 새로운 규제지침의 개발이 필수적이며 이를 위한 관련 기술이 확보되어야 할 것이다.

또한 개발된 원자로의 상용화를 위한 인허가심사시 예견되는 주요 안전쟁점문제에 대하여 충분한 기술자료와 평가능력을 사전에 구비함으로써 주요 안전현안문제의 조기도출 및 해결방안을 제시하고 필요시 인허가절차의 개선, 보완을 수행함으로써 인허가 안정화 및 증진된 안전성평가로 대국민 신뢰도 향상을 도모하고자 한다.

### 개발목표

차세대원전 개발은 개발초기 개발방향 및 개발목표를 제시하고자 설계기준을 우선적으로 개발하고 있다. 그 예를 들면 DOE/EPRI ALWR Program 설계기준이 이미 개발, 완료되어 적용되고 있으



<그림 1> 차세대원자로 개발 연구내용의 추진개념

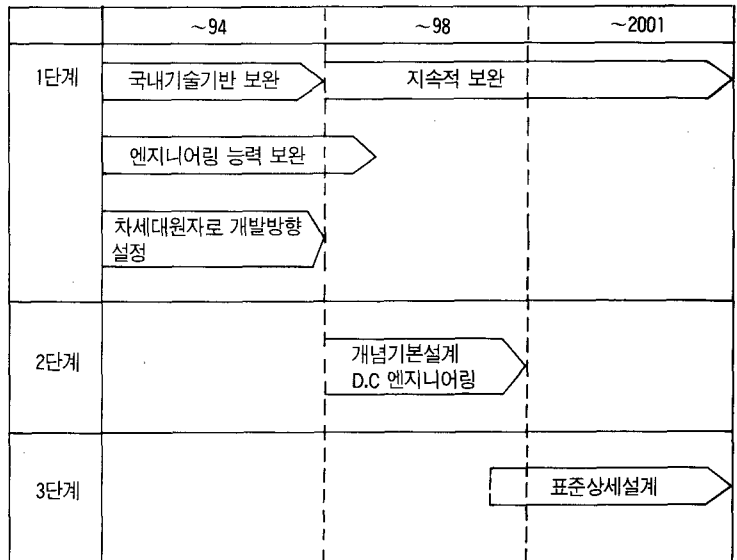
며, 프랑스에는 2000년대 유럽통합 LWR 개발을 위한 설계기준 개발 프로그램인 REP-2000 계획을 추진중에 있다. 또한 IAEA가 주관 이 되어 21세기에 건설될 원전의 목표를 설정하기 위한 국제적인 프로그램이 수행중에 있다.

국내에서는 현재 외국에서 검토되고 있는 설계기준 및 이에 관한 규제기관의 평가 등을 계속 추적하고 있으며, 차세대원전 성능은 <표 3>과 같이 전망하고 있다.

국내에서 개발하고자 하는 차세대원자로 또한 원자력선진국에서 개발중인 원자로형과 경쟁이 가능한 수준의 원자로가 되어야 한다. 따라서 세계 각국에서 향후 적용이 예상되는 설계기준을 종합적으로 재검토하여 이를 토대로 최적화된 설계개발을 추진하고자 한다.

### 추진일정

차세대원자로 기술개발은 국내에서 처음 추진되는 막대한 투자와 장기간을 요하는 대형 프로젝트이



<그림 2> 차세대원자로 개발일정

므로 개발계획의 수립은 물론 추진과정에서도 신중을 기하여야 한다. 특히 세계 각국은 차세대원자로 개념에 관한 방향결정에 부심하고 있음을 살펴볼 때, 우리나라에서의 차세대원자로 개발은 단계별 접근 방식을 선택하는 것이 바람직하다는 결론이다. 즉 기술개발기간중

단계별 중간평가를 통해 사업의 목표달성 및 프로젝트 수행과정(진도, 내용, 선진국대비 연구진척실적) 등을 세밀히 분석하며, 체계적이고 효율적인 연구관리가 이루어지도록 유도해야 한다. 이와 같은 판단하에 차세대원자로 개발계획은 3단계로 추진예정이며 2001년까지 표준상세설계를 완료할 예정이다.

<표 3> 차세대원자로의 성능

내 용	기존 경수로	차세대원자로
1. 안전성 · 노심손상확률 · 설계기준사고시 운전원대처시간 · 전전원상실사고시 노심손상대처시간 · 계측제어설계	연 10E-4 이하 10분~3시간 ~4시간 아날로그 방식	연 10E-5 이하 72시간 8시간 이상 디지털 방식
2. 성능 · 가동률 · 수 명 · 불시운전정지빈도	80% 40년 약 5회/년	87% 60년 1회/년 이하
3. 노심주기 · 핵연료교체주기	1년	2년

### 맺음말

앞에서 언급한 바와 같이 차세대원자로 기술개발은 우리나라 전력공급과 직결되는 매우 중차대한 과제로서 이를 계획대로 추진, 성공적 결실을 맺기 위해서는 정부를 비롯한 각 관련기관 종사자들의 헌신적 노력을 필요로 함을 강조코자 한다. ■