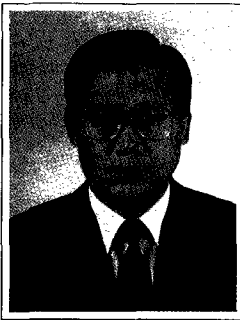


원전 기술 자립과 고도화

- 성과 및 추진 계획 -

홍 장 희

한국전력공사 원자력기술실 실장



연

자력이 제2차 세계 대전 종료에 결정적 역할을 하며 이 세상에 등장한 지도 반세기가 넘었다. 그러나 이러한 엄청난 에너지를 평화적으로 이용하려는 꾸준한 노력의 결과, 현재 원자력은 전력 생산을 위한 문명의 이기로서 전세계 전력 생산의 17%를 점하는 등 산업 발전에 지대한 역할을 하고 있다.

한편 우리 나라도 원자력 발전을 가동 한 지 20여년, 97년 전체 발전량 중 원자력 발전이 34.4%를 담당

하고 있으며, 특히 부존 자원의 부족 및 경제성이 있는 대체 에너지원이 없는 우리 나라에서는 원자력의 중요성이 날로 더해가고 있다.

본고에서는 이제까지의 국내 원자력 기술의 발전 과정을 돌아보고, 원자력 산업의 국제 경쟁력 제고를 목표로 추진중인 원전 기술 고도화 계획의 수립 경위와 추진 목표 및 방법 등을 소개함으로써 에너지의 안정 공급과 국가 기간 산업인 에너지 산업의 경쟁력 향상을 통해 국가 경쟁력 제고에 기여하는 계기를 마련하고자 한다.

원자력 발전의 도입 배경

산업의 발전이 급속도로 진전됨에 따라 전세계적으로 에너지의 수요가 급증하여 현재의 주된 에너지원으로 사용되고 있는 화석 연료 중 석유와 천연 가스는 21세기 중반 고갈이 예상되고, 석탄도 석유와 천연 가스 고갈 후 가속적으로 이용될 것임을 감

안할 때 대체 에너지원의 개발이 절실하며, 더욱이 이들 에너지 자원의 대부분은 일부 국가들에 편재되어 있다.

에너지 자원 빈국인 우리 나라는 70년대 두 차례 석유 파동을 경험하면서 에너지의 안정적 공급이 국가 경제 및 국민 생활에 얼마나 중요한가를 경험한 바 있다.

마땅한 대체 에너지가 없는 현실에서 원자력은 에너지 문제 해결을 위한 유일한 대안으로서, 연료비가 발전 원가에서 차지하는 비중이 적어 연료 중심이 아닌 기술 집약형 에너지이며, 또한 산성비·온실 효과 등의 환경 오염이 없을 뿐만 아니라 비축이 용이하다.

이에 따라 우리 나라는 에너지의 안정 공급을 도모한다는 차원에서 원자력을 도입하게 되었다.

원자력 기술 습득 및 발전 과정

국내 원자력 기술 수준 및 산업 구

〈표 1〉 원자력 관련사별 역할 분담 내용

회 사 명	담 당 분 야
한국전력공사	종합 사업 관리
한국전력기술(주)	플랜트 종합 설계
한국중공업(주)	주기기 설계 및 제작
한국원자력연구소	원자로 계통 및 초기 노심 설계
한국원전연료(주)	원전 연료 제조
국내 시공 업체	발전소 시공

조가 취약함에 따라 일괄 발주(Turn Key) 방식으로 원전을 건설한 고리 1·2호기 및 월성 1호기까지는 시공 분야를 제외한 국내 업체의 참여가 전무하였다.

그 후 국내 업체의 참여 폭을 넓히기 위해 분할 발주(Non-Turnkey) 방식으로 추진한 고리 3·4호기, 영광 1·2호기 및 울진 1·2호기의 건설에서는 일부 분야에 있어 국내 업체를 주계약자인 외국 업체의 하도급 계약자로 참여시켜 기술을 습득하였다.

그러나 이러한 방식으로는 기술 습득에 한계가 있어 영광 3·4호기에서는 사업 수행과 기술 자립을 병행하는 방식으로 전환하게 되었다.

계약 체계를 변경하여 국내 업체를 주계약자로 하고, 발전소 설계 업무를 외국 하도급 계약자인 미국의 S&L사 및 ABB-CE사와 공동으로 수행하면서 기술 습득을 도모하게 되었다.

그 결과 95년말 95%의 기술 자립 목표를 달성하게 되었으며, 영광 3·4호기가 성공적으로 준공되어 현재 3

호기가 한 주기 무정지 운전을 기록하는 등 우수한 성능으로 운전중에 있다.

원전 건설에 따른 지속적인 기술 습득으로 원전 건설 분야에 있어서는 PWR, 100만kW

급 원전 건설 능력을 확보하였으며, 원전 운영 분야는 97년 영광 1호기와 월성 1호기가 이용률 부문에서 세계 1·2위를 달성하였을 뿐만 아니라 93년 이래 5년 연속 국내 전원전의 평균 이용률이 87%를 상회하는 등 세계 최고의 운영 수준을 보여주고 있다.

또한 규모 면에서도 놀라운 발전을 보여 현재 운영중인 원자력발전소는 총12기에 설비 용량 1,031만kW로 설비 용량 기준으로 세계 10위권의 원전 보유국으로 성장하였으며, 또한 전원 개발 계획에 따른 지속적인 원전 건설 추진으로 현재 6기(540만 kW)가 건설중에 있다.

한편 이러한 자립된 원전 건설 기술 및 세계 최고 수준의 운영 기술을 근간으로 발전소의 안전성 및 신뢰성을 제고시키기 위하여 원전 기술의 지속적인 향상을 도모하고 있다.

원전 건설 기술 자립 성과

1. 추진 배경 및 경위

우리의 원전 건설 기술 자립 추진

은 70년대 두 차례 석유 파동을 경험하면서 부존 자원의 영향이 적고 경제성이 높은 기술 집약적인 에너지 개발에 대한 국민적 공감대가 형성되면서, 83년 7월 원전 건설 기술 자립을 통한 원전 설계 및 기자재 국산화를 90% 달성과 표준형 원전 건설에 따른 건설비 절감을 위해 원전 건설 사업 장기 추진 방향을 수립하였다.

이어 84년 7월 기술 자립 촉진 항목이 포함된 「원자력 발전 경제성 제고 방안」이 정부 정책으로 확정되어 기술 자립 추진 기반을 마련하였다.

87년초 착수된 영광 3·4호기 건설 사업과 연계하여 원전 건설 기술 자립 추진을 도모하였으며, 이를 위해 국내 역할 분담사와 외국 기술 보유사(CE, GE, S&L)간에 기술 도입 계약을 체결하여 기술 자료의 도입, 교육 훈련의 수행 등 체계적이며 종합적인 원전 건설 기술 자립을 추진하였다.

2. 기술 자립 목표

영광 3·4호기와 동일한 기종의 원전을 주어진 공기 및 예산 내에서 품질 요건에 맞게 독자적으로 설계·제작·건설할 수 있는 기술 능력의 95%를 95년까지 확보하는 것을 목표로 하였다.

3. 기술 자립 역할 분담

기술 자립 달성 기간의 단축, 국내 기술 인력·설비 등 제한된 자원의

효율적인 활용 등을 위해 관련사별 역할을 분담하여 추진하게 되었다. 관련사별 역할 분담 내용은 <표 1>과 같다

(표 2) 국내 원전의 호기별 공기

구 분	영광 3·4	울진 3·4	영광 5·6	울진 5·6	신규(최종 목표)
공 기	64개월	62개월	58개월	56개월	52개월

주) 공기: 최초 콘크리트 타설~(선형 호기) 준공

4. 추진 방법

기술 도입 계약을 통해 원전 건설에 필요한 모든 전산 코드 및 기술 자료를 도입하고 국내외 교육 훈련을 통해 기술 인력을 양성하며 영광 3·4호기 설계·구매·제작·시공 업무를 직접 수행함으로써 도입 기술의 소화·흡수·축적을 도모토록 하였으며, 사업 수행만으로 습득이 어려운 분야 및 취약 기술 분야는 자체 기술 개발 업무를 통해 극복하였다.

5. 추진 실적

본격적으로 원전 건설 기술 자립 추진을 시작한 86년말 우리 나라의 원전 건설 기술에 대한 자립률은 약 60% 정도였으나 95년말 기준으로 기술 자립률 95%를 달성하게 되었다.

주요 업무 추진 실적을 살펴보면, 원전 건설에 필요한 모든 기술 자료와 전산 코드를 확보하였으며, 국내외 교육 훈련을 통한 기술 인력 양성도 계획대로 완료하였다.

그리고 도입된 기술 자료와 양성된 기술 인력을 활용하여 우리 나라 원전 건설 사상 최초로 국내 업체가 건설 업무 전반을 주도 하였으며 이에 따른 경험 기술도 충분히 습득하였다.

또한 부족 기술의 보완을 위해 추진한 설계 검증 및 기술 검토, 반복 및 모의 설계, 시제품 제작 등은 물론 지속적인 연구 개발을 통해 노하우(know-how) 수준을 높여 복제 설계를 자체적으로 수행할 수 있게 되었다.

6. 자립 이후의 전망

우리 나라의 원전 산업은 여명기인 60년대를 지나 70~80년대에 이르러 국가의 중화학공업 육성을 바탕으로 급속한 발전을 이룩할 수 있었다.

이제 기술 자립 목표를 성공적으로 달성하여 그 노력의 결정체인 영광 3·4 호기가 정상적으로 가동중에 있으며, 그 기술을 바탕으로 한 최초의 한국 표준형 원자력발전소인 울진 3·4호기가 성공적으로 건설되어 3호기는 98년 6월, 4호기가 99년 6월에 각각 가동할 예정이다.

한국 표준형 원자력발전소는 최신의 설계 및 기술 기준을 적용하고, 우리 나라의 특성 및 한국인의 운전 관행에 맞도록 100여 가지 이상의 설계를 개선하여 안전성과 경제성에서 기존 원자로에 비해 많은 발전을 이룬 것이 큰 특징이다.

또한 설계 개선에 따라 원자로의

노심 손상 확률을 기존 운영중인 원전보다 1/10 수준으로 감소시키고 방사선 피폭량을 1/3 수준으로 낮추게 되었으며, 건설 기간도 대폭 단축시킴에 따라 건설비도 저렴해질 전망이다.

이러한 우리의 원전 건설 능력과 그동안 축적된 운영 기술이 국제적인 인정을 받아 지난 93년에는 중국 광둥성 원자력발전소의 보수 정비 용역을 수주하는 등 해외 진출의 교두보를 마련하였으며, 최근에는 중국 진산 원전 시운전 요원에 대한 훈련 계약을 체결하여 원전 운영 기술을 수출하게 되었다.

또한 중국의 신규 원전 건설을 비롯하여 베트남·필리핀 등에서의 원자력 발전 사업의 참여를 적극 추진 중에 있으며, 현재 KEDO를 통해 북한에 제공되는 발전소도 울진 3·4호기를 모델로 한 한국 표준형 원자력 발전소로서 사업의 주계약자로 한전이 결정되어 발전소 건설을 위한 부지 정치 작업을 수행중에 있다.

자립된 기술을 근간으로 현재 기본설계를 개발하고 있는 차세대 원자로 기술 개발 사업은 한국 표준형 원전인 100만kW급 PWR 이후 다음세대 원전에 적용될 발전소로서 2000년대초(2008년) 첫 호기 가동

을 목표로 추진중에 있다.

차세대 원전은 기존 원전에 비하여 안전성과 경제성을 대폭 개선하여 여타 전력원에 비하여 한층 경쟁력을 갖는 원전 개발을 목표로 추진하고 있다.

이러한 목표를 달성하기 위하여 원자로 계통은 135만kW급으로 대용량화하고 해외에서 개발되는 신형 원자로의 설계 요건을 반영하였으며, 특히 안전성을 향상시키기 위하여 이중 격납 용기, 중대 사고 완화 설비 등 일부 피동 개념 설비를 보강하여 개발중에 있다.

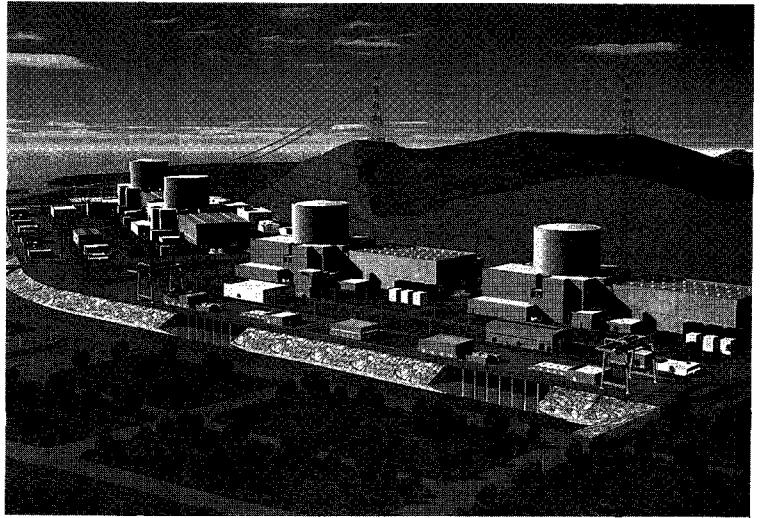
또한 터빈 발전기 및 보조 계통과 플랜트 종합 설계는 국내에 축적된 경험과 기술을 최대한 활용하여 설비의 단순화·표준화 및 모듈화 등 설계 및 건설 기법의 선진화를 통한 경제성 향상을 달성할 수 있도록 설계된다.

원전 건설 기술 자립을 바탕으로 건설된 한국 표준형 원전 기술이 우리의 원전 기술 수출의 기반을 마련하였다면, 차세대 원전은 우리나라 원전 기술 선진화를 위한 발전·도약의 계기가 될 것이다.

원전 기술 고도화 추진

1. 추진 배경 및 경위

WTO 체제의 출범과 국제적 무한 경쟁 시대의 도래로 기술 경쟁력 우위가 기업 생존의 요체라는 인식뿐만



차세대 원자력발전소 조감도. 자립된 기술을 근간으로 현재 기본 설계를 개발하고 있는 차세대 원자로 기술 개발 사업은 2000년대 초 첫 호기 가동을 목표로 추진중이다.

아니라 선진국의 기술 보호주의의 심화로 독자적인 기술 개발에 대한 관심이 고조되어 가는 추세하에서, 국가 기간 산업으로서 원자력 산업의 국제 경쟁력 확보가 국가 경쟁력 향상의 근간이 된다는 차원에서 국내 원전 기술 고도화의 필요성이 대두되었다.

또한 기존 기술 자립 계획은 건설 분야에만 초점을 맞추어 복제 기술 능력 향상을 목표로 추진하였으나, 가동 원전수가 증가하고 특히 국내 업체가 주계약자로 참여하여 건설한 원전이 가동됨에 따라 운영 기술 및 방사선 관리 기술 분야 등을 포함한 원전 전분야에 걸친 기술 향상이 필요하게 되었다.

이를 위해 원전 기술 고도화를 위한 정책 수립 연구를 수행하여 한전

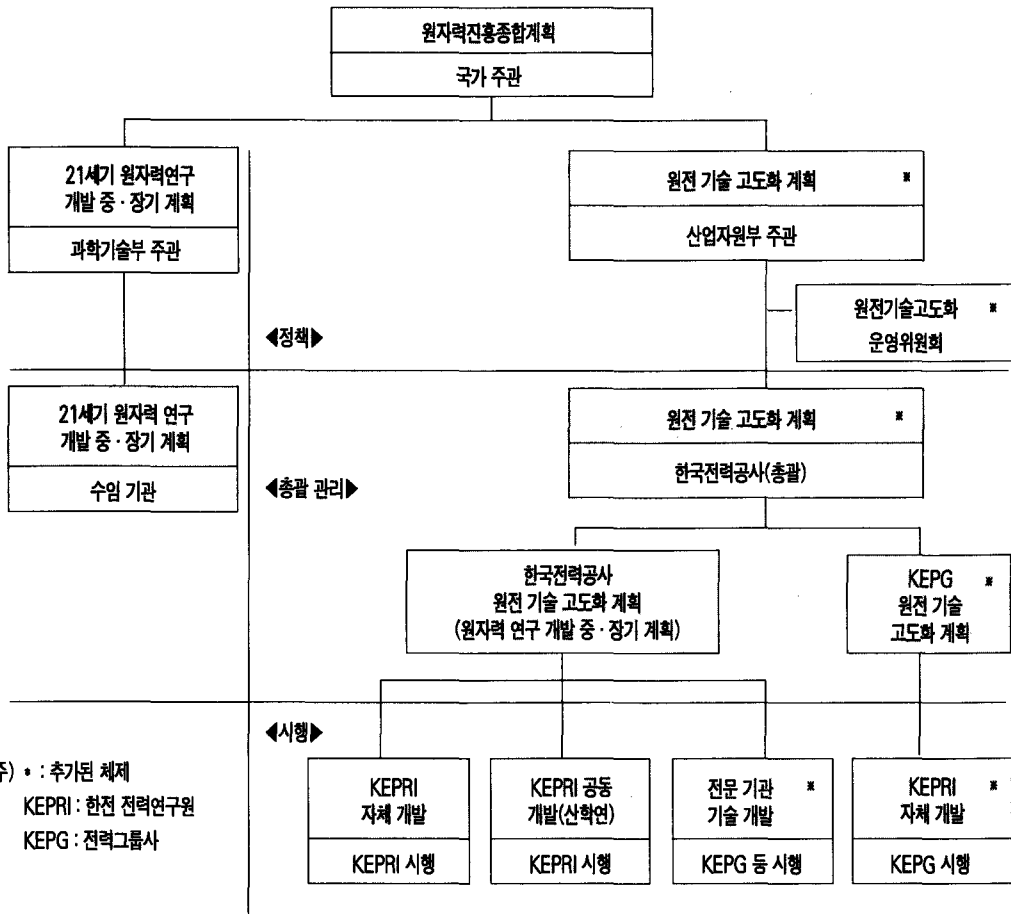
을 비롯한 전력 그룹사를 주축으로 국내 원자력 전기관의 참여하에 추진하는 원전 기술 고도화 추진 전략을 마련하였으며, 또한 정부에서도 제 247차 원자력위원회(97. 6) 의결을 통해 원전 기술 고도화 추진을 결정하였다.

이에 따라 정부의 추진 방침 및 전력 그룹사의 추진 전략을 반영하여 원전 기술 고도화 기본 계획을 수립하여 추진하게 되었다.

2. 기술 고도화 목표

97년부터 2006년까지 10년에 걸쳐 원전 전분야에 걸쳐 국제적으로 경쟁력 있고 차별화된 고유 원전 기술 능력을 확보하기 위해 단계별·부문별 목표를 설정하였다.

가. 단계별 목표



〈그림 1〉 기술 고도화 추진 체계

97년~2001년까지는 1단계 실용 기술의 고유화 단계로서, 취약(부족) 기술을 확보·보완하고 보유 기술의 개선·개량 및 고유화를 통하여 실용 기술 고유화에 따른 제약 요소 제거 및 응용 능력을 배양할 예정이다.

또한 2002~2006년까지는 2단계 실용 기술의 최적화 단계로, 고유화 기술의 최적화 및 선진 신기술을 확보함으로써 실용 기술의 해외 수출에

따른 제약 요소를 제거하며 선진 신 기술의 접목·활용으로 기술의 최적화를 달성할 예정이다.

나. 부문별 목표

건설 분야의 종합 사업 관리, 플랜트 종합 설계, 원자로 계통 설계, 기자재 (NSSS, T/G, BOP) 설계 등은 100% 독자 수행을 하고, 기자재 제작은 제작 능력은 확보하되 경제성 및 시장성 등을 고려하여 추진할 예

정이다.

운영 분야는 원전 운전, 원전 정비 및 원전 연료(노심 설계) 기술은 100% 독자 수행을 원칙으로 하고, 원전 서비스는 독자 수행 기반 구축을 목표로 하고 있다.

방사선 관리 분야의 보건 물리, 환경 방사능 관리, 방사성 물질 관리 기술 및 신형 원자로 분야의 차세대 원전 개발, 신설계 개념 원자로 기술은

(표 3) 기술 고도화 주요 추진 분야

부 문	분 야	세부 기술 개발 분야
원전 건설	종합 사업 관리	표준 원전 개량화
	플랜트 종합 설계	원전 시공
		원전 내진
		원전 구조 원전 입지 환경
원자로 계통 설계	원전 설계	
	NSSS, T/G 및 BOP 기기 설계/제작	기기 국산화
원전 운영	원전 운전	원전 운전성 향상
		원전 안전성 향상
		중수로 고유 운영 기술
	원전 정비	설비유지정비
	원전 연료(노심 설계)	원전 연료
원전 서비스	수명 관리 기술	
	원전 계속 제어	
	원전 가동전·중 검사	
방사선 관리	보건 물리	방사선 안전 관리
	환경 방사능 관리	방사물 처리·처분
	방사성물질관리	원전 방사 화학 처리
신형 원자로	차세대 원전 개발	차세대 원자로
	신설계 개념 원자로	신설계 개념 원자로
원전 정책	원전 PA 정책	원전 PA 전략
	원전 연료 주기 정책	원전 연료 주기
	원전 기술 정보 관리	원전 종합 D/B 체계 구축

독자 수행을 목표로 하고 있다.

또한 원전 정책 분야의 원전 PA 정책, 원전 연료 주기 정책 및 원전 기술 정보 관리 기술은 원전 운영 정책 결정에 필요한 사회적·기술적 논리 제공 및 원자력 기술 정보망을 구축하여 기술 정보의 공유화를 꾀할 계획이다.

3. 기술 고도화 추진 체계

원전 기술 고도화 추진의 효율성을 기하기 위해 현재 추진중인 원자력

연구개발 중·장기 계획과 연계하여 추진하고자 하며 추진 체계는 <그림 1>과 같다

4. 추진 방향

원전 기술 고도화는 원전 기술을 크게 5개 분야, 21개 연구 개발 부문으로 구분하여 추진하며, 각 분야별 중점 추진 방향은 다음과 같다.

원전 건설 분야의 원전 설계 기술은 표준화·단순화 및 전산화를 위한 기술 개선 및 검증 기술 확보에 꼭 필

요한 고유 전산 코드의 개발을 중점 추진하며, 기자재 설계 및 제작 기술은 경제성과 부가 가치를 고려하여 국산화를 추진하되, 최신의 설계 및 제작 기술을 활용한 기기 성능 개선에 주력하며, 시공 기술은 신공법 개발, 자동화 및 모듈화 기술 개발을 중점 추진할 것이다.

원전 운영 분야의 원전 서비스 기술은 신뢰성·안전성·경제성 향상 기술을 개발하며, 원전 연료는 표준형 원전의 연료 개량화 및 최적화, 고연소도 연료 개발, 설계 코드 개발 등을 추진한다.

방사선 관리 분야는 방사선 안전 관리, 방사성 물질 처리·처분, 방사 화학 처리 기술 등 실용 기술 개발을 중점적으로 추진하며, 신형 원자로 분야는 차세대 원자로 설계 개발 및 신설계 개념 원자로 기반 기술 확보에 중점을 두고 추진할 것이다.

원전 정책 분야는 원자력 산업에 대한 국민적 공감대를 형성하기 위해 원전 사업에 대한 사회·과학적 논리 개발 및 국제 사회 및 정치적 환경을 고려한 원전 연료 주기 정책을 개발하며, 또한 전력 그룹사간 원전 기술 정보의 공유화를 위해 원자력 기술 정보망을 구축하고자 한다.

5. 추진 방법

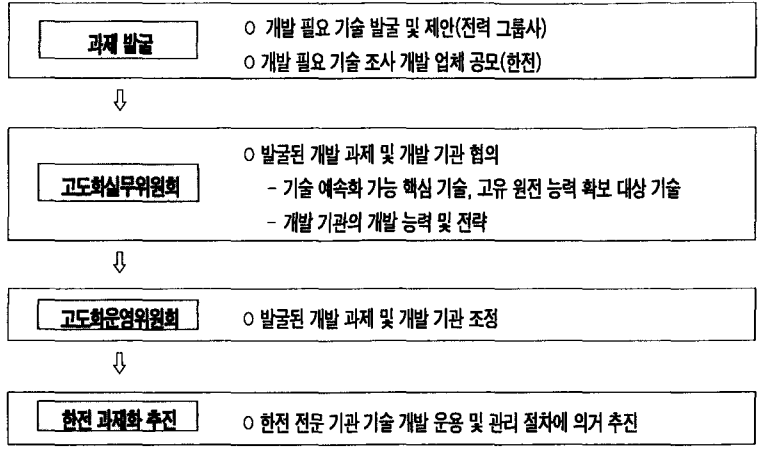
기존의 한국전력공사 주도 원자력 중·장기 연구 개발 과제와 연계하여 추진하되, 한국전력공사와 전력 그룹

사(KEPG)가 주도하여 10년간 약 1조5천억원을 투자하며, 전문 분야별(A/E 및 NSSS 설계 : 한국전력기술(주), 주기기 설계 및 제작 : 한국중공업(주), 원전 연료 분야 : 한국원전연료(주), 원전 정비 : 한전기공(주), 종합 사업 관리 등 : 한국전력공사)로 역할을 분담하여 크게 4가지로 구분하여 추진한다.

그 내용을 보면 한전 전력연구원이 수행하는 자체 개발 및 전력연구원과 산·학·연, 전력 그룹사가 함께 수행하는 공동 개발은 한전 자체 연구 개발 관리 규정에 의거 추진하고, 전력 그룹사가 주도하여 개발하는 자체 개발분은 전력 그룹사별 자체 연구 개발 관리 규정에 따라 추진한다.

특히 원전 기술 고도화 사업에서 중점적으로 추진하게 될 한전 시행 전문 기관 기술 개발 사업은 한전 주도 중·장기 연구 개발 과제에 포함되지 않는 건설 및 운영 기술 분야에 경제성 및 기술성의 기대 효과가 큰 요소 기술을 <그림 2>와 같은 절차에 의거 개발한다.

또한 국내 원전 기술 고도화를 위해 한전 및 전력 그룹사의 자체 기술 개발 계획의 중복성 및 연계성을 고려한 통합 원전 기술 고도화 세부 실천 계획을 수립할 예정이며, 이러한 업무들의 원활하고도 효율적인 추진을 위해 전력 그룹사간의 협의체 운영과 아울러 산업자원부 국장급을 위원장으로 하고 정부 및 전력 그룹사



<그림 2> 전문 기관 기술 개발 절차

의 참여하에 국내 원자력 기술 개발을 주도하는 원전기술고도화운영위원회를 구성, 기술 정책에 관한 중요 사항 등을 처리할 예정이다.

이와 함께 관련 참여사간 기술 정보의 효율적인 관리 및 활용을 위해 기술 정보망을 구축 운영하여 원전 기술 고도화 목표 달성에 만전을 기하고자 한다.

맺는말

그 동안 우리 나라 원자력 산업계는 원전 건설 기술 자립 계획에 따른 체계적인 기술 자립 추진으로 한국 표준형 원전을 탄생 시킬 수 있었으며, 이러한 자립 기술을 바탕으로 원전 건설은 물론 가동중 원전의 안전성 및 신뢰성 확보와 더불어 세계적으로도 우수한 운영 기술 보유국으로 도약할 수 있었다.

그러나 이러한 괄목할만한 성장에도 불구하고 아직도 일부 핵심 기술에 대해서는 기술을 활용할 능력(know-how 기술)은 보유하고 있으나 기술을 원천적으로 개선·응용할 수 있는 능력(know-why 기술)은 부족한 실정이다.

따라서 국내 자립 기술을 한 단계 승화시키고 know-why 중심의 일부 핵심 기술 보완을 위해 원전 기술 고도화 계획을 수립 추진중에 있다.

또한 확보된 기술의 활용 극대화를 위해 원전 기술 정보망을 구축하여 활용할 예정인 바, 이러한 원전 기술 정보망이 구축되면 자원 에너지 수입국에서 기술 에너지 수출국으로의 위상 정립은 물론, 명실공히 첨단 기술 산업인 원자력 산업 분야에서 세계적 기술 선도국으로의 도약이 가능할 것으로 기대된다.