

『신형경수로 1400』 원전 건설

정 명 섭

한국수력원자력(주) 사업처 신고리 #3, 4 사업관리실 부장

1. 차세대원자로 기술개발사업 개요

1991년 4월, 산업자원부와 한국전력공사는 한국표준형 원전 개발 이후부터 고속증식로 상용화 단계 사이에 차세대원자로를 개발하여 건설한다는 「원자로형 전략」을 확정하고 1991년 11월에 이를 원자력위원회에 보고한 바 있다. 이에 따라 정부는 1992년 6월에 종합과학심의회를 개최하고 차세대원자로 기술개발사업을 국가선도기술개발사업(G-7)의 하나로 중점 추진키로 확정하였다.

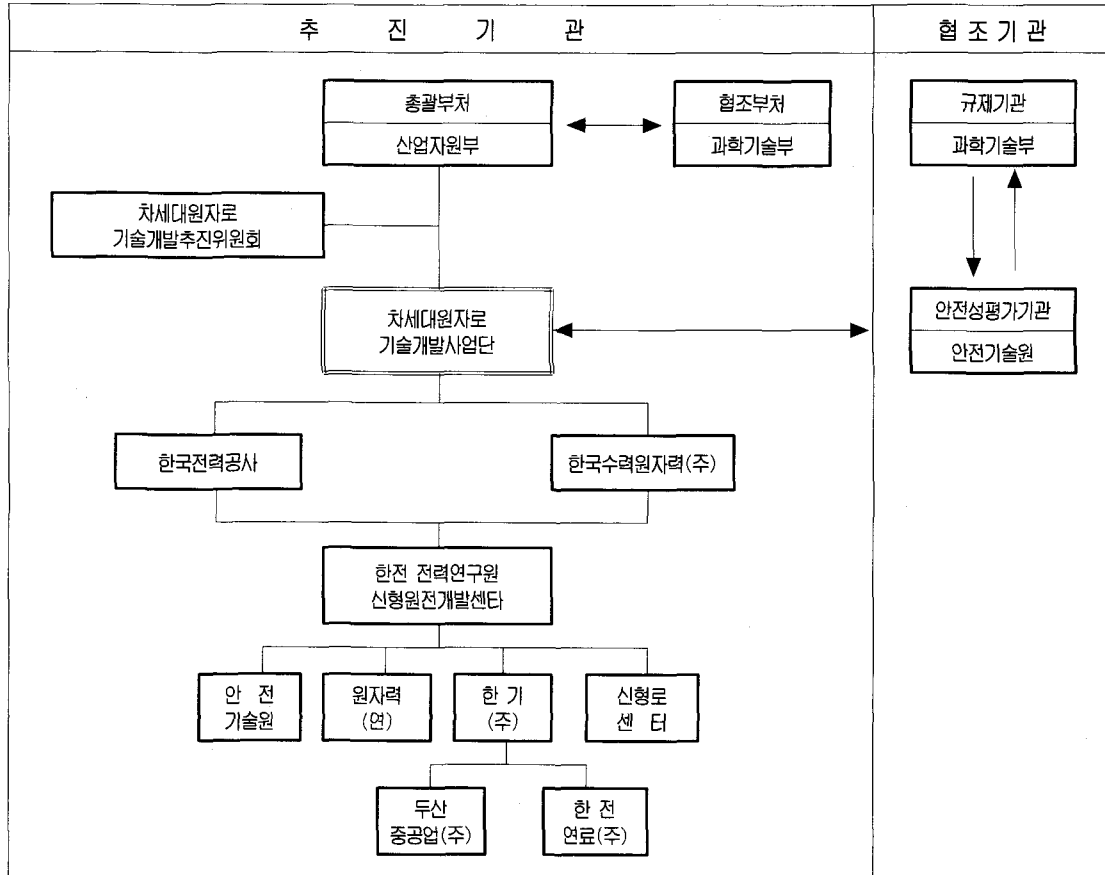
화석에너지의 공급 불안을 해소하고 에너지안보 차원에서 준국산 에너지원인 원자력의 지속적인 개발이 절실히 요구됨에 따라, 차세대원자로 기술개발사업은 국가 원전기술 제반의 선진화에 기여할 수 있고, 원전운영으로 온실가스 방출을 저감시킴으로써 지구환경 보호에 대처함과 동시에, 이를 통하여 장기 전력수급계획에 의한 전력수요를 충족시킨다는 목표로 시작되었다.

또한 기술개발을 추진해 나감에 있어서는 그간 선행호기(울진 3, 4/5, 6호기 및 영광 5, 6호기 등)의 개발과 건설·운영 과정에서 축적된 자체 기술을 근간으로 하고 해외 신형원전의 설계개념을 참조 적용하여 기존 경수로형보다 안전성과 경제성을 한층 더 높임으로써 대내·외 경쟁력을 확보할 수 있도록 140만kW급으로 개발한다는 전

략이 세워졌다.

사업기간은 1992년 12월부터 2001년 12월까지로 하고 이를 3단계로 나누어 I 단계(1992. 12~1994. 12)에는 개발노형 확정 및 개념설계 개발, II 단계(1995. 3~1999. 2)에는 기본설계 개발, 그리고 III 단계(1999. 3~2001. 12)에는 표준설계인가 취득 및 최적화 설계를 각각 추진하여 왔으며 금년말까지 약 2300억원의 사업비가 투자될 예정이다.

기술개발 추진체제(그림 1 참조)는 산업자원부가 총괄 부처로서 「차세대원자로 기술개발 추진위원회」가 구성되어 기술개발에 따른 계획, 추진방침 및 평가 등에 대한 심의·조정을 하고 있으며, 금년 4월초에 전력산업구조 개편과 연계하여 그 동안 한국전력공사에서 이루어진 원자력사업이 한국수력원자력(주) 회사로 이관됨에 따라 한국전력공사(전력연구원)와 한국수력원자력(주)에서 주관하여 추진하고 있다. 그리고 이들을 중심으로 한국원자력안전기술원, 한국원자력연구소, 한국전력기술(주), 과학기술원 신형로연구센터, 두산중공업(주), 한전원자력연료(주) 등이 참여하여 핵심기술연구, 설계개발, 정보관리체계 개발, 안전규제기술 개발 및 사전안전성 검토 등 분야별로 역할을 수행하고 있다. 또한 과학기술부가 이를 적극 지원·협조함으로써 명실공히 범 국가적인 프



〈그림 1〉 기술개발 추진체제

로젝트로서 추진되어 왔다.

금년 2월 23일 제15차 차세대원자로 기술개발추진위원회에서는 차세대원자로 이름 선정전에 대하여 차세대원자로 공식명칭을 「신형경수로1400」, 영문으로는 「APR 1400」(Advanced Power Reactor 1400)으로 각각 확정하였다. 차세대원자로(KNGR : Korean Next Generation Reactor)라는 이름은 기술개발 초기부터 노형 이름으로 사용하여 왔으나, 이는 한국표준형원전(KSNP : Korean Standardized Nuclear Power Plant)의 후속 모델로서 '차기에 건설될 발전소'라는 시간적 의미를 가지고 있어 향후 건설사업추진을 위해서는

새로운 이름이 요구되었기 때문이다.

2. 건설계획 개요

가. 국내 원자력 사업의 현황

지난 1978년 4월 원자력을 이용하여 최초로 전기를 생산한 지 올해로 23년이 되었으며, 그 동안 꾸준한 원전 운영능력의 제고로 이용률, 불시정지 등 운영기술 역시 세계 상위수준을 유지하고 있다. 또한 우리 기술진에 의한 설계로 한국표준형원전은 물론이고 북한 금호원전에 대한 설비수출 단계까지 이르렀다.

〈표 1〉 원전 설비 현황 및 건설 계획

운영중 : 16기(1372만kW)									
노형	발전소	용량(만kW)	건설기간		원자로 공급사	시공사			
경수로	고리	#1	59	1971. 11 ~ 1978. 4		(미)WH	현대·동아		
		#2	65	1977. 3 ~ 1983. 7		"	"		
		#3, 4	95×2	1979. 4 ~ 1986. 4		"	현대		
	영광	#1, 2	"	1980. 12 ~ 1987. 6		(미)WH	현대		
		#3, 4	100×2	1989. 6 ~ 1996. 1		두중/(미)CE	현대		
	울진	#1, 2	95×2	1982. 3 ~ 1989. 9		(프)Framatome	동아·두중		
#3, 4		100×2	1992. 5 ~ 1999. 12		두중/(미)CE	동아·두중			
중수로	월성	#1	68	1977. 5 ~ 1983. 4		(카) AECL	현대·동아		
		#2	70	1991. 10 ~ 1997. 7		(카)AECL/두중	현대		
		#3, 4	70×2	1993. 8 ~ 1999. 10		"	대우		
건설중 : 4기(400만kW)									
노형	발전소	용량(만kW)	준공연월		원자로 공급사	시공사			
경수로	울진 #5, 6	100×2	2004. 6 / 2005. 6		두중/(미)CE	동아, 두중, 삼성			
	영광 #5, 6	"	2002. 4 / 2002. 12		두중/(미)CE	현대, 대림			
건설준비중 : 6기(680만kW)									
노형	발전소	용량(만kW)	준공연월		원자로 공급사	시공사			
경수로	신고리 #1, 2	100×2	2008. 9 / 2009. 9		미정	미정			
	신월성 #1, 2	"	2009. 9 / 2010. 9		미정	미정			
	신고리 #3, 4	140×2	2010. 9 / 2011. 9		미정	미정			
건설계획(~2015) : 2기(280만kW)									
연도	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
용량(만kW)	-	-	-	-	-	140	140	-	

우리 나라는 2000년말 현재 16기(경수로 12기, 중수로 4기)의 원전이 가동중에 있으며(표 1 참조), 원전 설비용량은 1372만kW로 총 발전시설의 28%(석탄 : 28%, LNG : 26%), 2000년도 원전 발전량은 1,089kWh로 총 발전량의 41%를 각각 차지함으로써 국가 경제발전에 있어서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다.

또한 국내에너지 소비량의 약 97% 이상을 수입하는 우리나라의 경우 향후 기후변화협약상 온실가스 감축의 무부담이 가시화되고 있음에 따라 현실적인 이행방법으로 원자력 중요성이 더욱 부각되고 있다.

이러한 상황들을 고려하여 원자력발전소는 현재 건설이 한창 진행중인 4기(영광 #5, 6 및 울진 #5, 6(각 100만kW급)) 외에 추가하여 6기(신고리 #1, 2/신월성 #1, 2(각 100만kW급) 및 국내 최초로 건설되는 「신형

경수로1400」 사업인 신고리 #3, 4(각 140만kW급))는 건설기본계획이 확정된 후 현재 주기기계약 체결을 위한 건설 준비중에 있다.

또한 오는 2015년도까지는 주력노형인 140만kW급 「신형경수로1400」 2기를 추가로 더 건설할 계획이다. 향후 우리 나라는 전력수요성장 등을 고려할 때 적어도 2030년까지는 원전건설이 지속적으로 필요할 것으로 판단되며 큰 변화가 없는 한 「신형경수로1400」 원전이 반복 건설될 것으로 보인다.

국내 원자력계의 기술능력은 이미 기술자립을 확보함으로써 선진국 수준에 육박하고 있다. 그러나 시장개방 압력과 국제 원전시장에서의 선진국 원전 업체간 인수·합병 등 경쟁 여건이 심화되고 있고, 이미 국내에서도 전력산업구조개편이 추진되고 있어 이와 같은 국내·외의

새로운 변화에 대응해 나갈 수 있는 원자력 산업계의 노력이 더욱 요구되고 있다.

나. 건설사업준비 사전평가

「신형경수로1400」의 기술개발 결과를 토대로 향후 추진될 원전건설 사업 전반에 대한 준비상황을 철저히 점검하고 필요시 보완대책을 강구하고자 「신형경수로1400」 1, 2호기 건설사업 준비상태를 평가하였다. 지난 해 9월 25일부터 11월 30일까지 한국전력공사와 설계기관 전문가 등 약 70여명으로 「사업준비 평가반」이 구성되어 건설관련 제반사항을 9개 분야(설계, 인허가, 구매, 신형주 제어실 및 관련설비(MMIS), 공정/시공, 공사비, 정보관리, 사업체제, 인력활용 등)로 나누어 사전 평가를 실시한 바 있다.

약 2개월에 걸친 평가결과, 설계분야에서는 최초 콘크리트 타설시까지 70%의 높은 설계진도가 가능(영광 #3, 4 : 약 55%, 울진 #5, 6 : 약 65%)하며, 구매분야에서는 용량증대와 내진강화에도 불구하고 기자재는

적기구매가 가능한 것으로 평가되었다. 다만, 일부 장기 구매항목에 대하여는 구매 사양서를 조기에 작성하는 것이 필요하다는 의견이 제시되었다.

그리고 경제성 분야에서는 유연탄화력(80만kW급) 대비 대등한 수준이며, 공정 분야는 2001년 3월까지 건설기본계획을 수립할 경우 장기전력 수급계획 기준상의 「신형경수로1400」 1, 2호기 준공 일정(2010년, 2011년) 준수가 가능한 것으로 평가되었다. 이러한 철저한 사전 평가를 토대로 한국전력공사에서는 건설기본계획을 수립하였다.

다. 건설기본계획 수립

한전은 금년 2월 24일 제5차 장기전력수급계획(2000. 1. 13 산업자원부 공고)에 따라(표 2 참조) 「신형경수로 1400」 1·2호기를 오는 2010년 9월과 2011년 9월에 각각 준공을 목표로 「신고리원자력 3·4호기」의 건설기본계획을 수립하였다.

건설기본계획의 주요내용은 사업명·위치·원자로

〈표 2〉 우리 나라의 전원구성비 현황 및 전망

단위 : 천kW, %

연도	원자력	유연탄	LNG	중유	경유	무연탄	수력	합계
2000	13,716 (28.0)	14,740 (26.0)	13,289 (27.1)	4,570 (9.3)	296 (0.6)	1,291 (2.6)	3,148 (6.4)	49,050 (100)
2001	13,716 (28.0)	13,740 (26.9)	13,618 (26.7)	4,570 (8.9)	296 (0.6)	1,291 (2.5)	3,874 (7.6)	51,150 (100)
2002	15,716 (28.4)	14,740 (27.2)	13,914 (25.6)	4,570 (8.4)	296 (0.6)	1,191 (2.2)	3,875 (7.1)	54,301 (100)
2003	15,716 (28.4)	14,740 (26.6)	14,990 (27.1)	4,570 (8.3)	296 (0.5)	1,191 (2.1)	3,881 (7.0)	55,383 (100)
2004	16,716 (28.4)	16,340 (27.8)	15,890 (27.0)	4,570 (7.8)	296 (0.5)	1,125 (1.9)	3,883 (6.6)	58,891 (100)
2005	17,716 (28.6)	16,840 (27.3)	16,464 (26.7)	4,570 (7.4)	296 (0.5)	1,325 (2.1)	4,404 (7.1)	61,614 (100)
2010	22,529 (30.2)	19,240 (25.8)	18,387 (24.6)	6,510 (8.7)	296 (0.4)	1,325 (1.8)	6,324 (8.5)	74,611 (100)
2015	26,050 (33.0)	20,420 (25.8)	18,850 (23.8)	5,870 (7.4)	131 (0.2)	800 (1.0)	6,934 (8.8)	79,055 (100)

주 1) 제5차 장기전력수급계획 기준(2000. 1. 13 산업자원부 확정 공고)
2) 각 연말 기준 설비용량

형·설비용량·공사 기간·총 공사비, 연료공급계획·방사성폐기물저장 및 처분, 주요설비계획, 그리고 발전소 운용방침 등을 주요 내용으로 하고 있다. 이에 따라 이미 산업자원부가 전원개발예정구역으로 지정·고시한 울산광역시 울주군 서생면 신암리(현 고리원자력본부 인접부지) 일원에 140만kW급 「신형경수로1400」 원전 2기 건설을 추진하게 되었다. 공사기간은 본관기초굴착공사 착수시점을 기준으로 하여 2004년 12월부터 2011년 9월(1호기 : 70개월, 2호기 : 82개월)로 예정하고 있다.

건설기본계획이 수립됨에 따라 금년 4월 전력산업구조개편에 의거 현재 사업추진 주체인 한국수력원자력(주)에서는 5월에 세부시행계획을 확정하였으며 오는 2002년 12월경에는 주계약 완료, 2004년 6월까지 건설허가 취득을 추진한다는 계획을 세우고 있다. 앞으로 정부 및 인허가 관련기관에서도 관계법령에 의거하여 한국수력원자력(주)로부터 요청될 원전건설과 관련한 각종 인허가, 전원개발사업 실시계획승인·고시 그리고 건설허가 등의 절차를 추진해 나갈 것으로 전망된다.

3. 설비특징과 향후전망

가. 주요 설비특징

지난 10년간 연인원 2,000여명의 원자력 전문가들이 기술개발에 참여하여 추진해 온 차세대원자로 기술개발 사업은 이제 마무리 단계에 있다. 「신형경수로1400」의 주요특징과 기술개발성과 등에 대하여는 그간 기술개발의 핵심적 역할을 담당해 온 전력연구원 신형원전개발센터에서 분야별로 관련자료를 수차례에 걸쳐 발간·배포한 바 있다. 이하에서는 그 중 대표적인 내용을 간략히 소개하기로 한다(표 3 참조).

○ 중대사고 대처설계

「신형경수로1400」에는 핵연료가 용융하는 중대사고

시의 문제점을 해결하기 위하여 격납용기내의 수소를 피동적으로 재결합시킬 수 있는 설비(PAR, Passive Autocatalytic Recombiner)를 설치하여 발생된 수소를 효과적으로 제거할 수 있도록 설계되어 있으며, 중대사고로 노심이 녹는 경우라도 노심용융물을 원자로 용기내에 가두어 두고 냉각할 수 있도록 원자로 용기외벽을 침수시켜 냉각하는 설계개념(IVR, In-Vessel Retention)을 도입하였다.

○ 신뢰도 있는 장수명·장주기 설계

「신형경수로1400」에서는 원자로 용기의 설계수명을 종전(한국표준형 원전) 40년에서 60년으로 향상시켰고 핵연료재장전 주기를 최초부터 18개월 수용할 수 있도록 하였다. 발전소 계측 및 제어계통에 최신 디지털기술을 적용하여 운전원이 운전 Data를 쉽게 인지할 수 있도록 하고, 프로그램에 의해 발전소 자동 기능시험 및 자기진단이 가능하도록 하는 등 발전소 신뢰도를 크게 향상시켰다는 점도 또 하나의 주요 특징으로 들 수 있다.

〈표 3〉 「신형경수로1400」 주요 설계특성

구 분	한국표준형원전	신형경수로1400
설비용량	100만kW급	140만kW급
설계수명	40년	60년
내진설계치	0.2g	0.3g
경제성	기준	약 15% 이상 유리 (건설기본계획공사비 기준)
안전설비 강화 -비상노심냉각 -핵연료저장수조	2 트레인 저온관 주입 격납건물 외부	4 트레인 용기 직접주입 격납건물 내부
노심손상빈도	$8.3 \times 10^{-6} / R \cdot Y$	$2.4 \times 10^{-6} / R \cdot Y$
건물 배치 (ACB, RWB, SAB)	별도배치	통합배치
기초 형태	격납건물, 보조건물 기초분리	통합
디젤발전기 배치	보조건물내	좌동
중앙제어실 (제어방식)	Bench Board 형태 (아날로그+디지털)	Workstation 방식 (디지털)

주) ACB(Access Control Building)
RWB(Radioactive Waste Building)
SAB(Secondary Aux. Building)

○ 신형 주제어실 도입

「신형경수로1400」의 주제어실 설계는 최첨단 디지털 제어 시스템과 인간공학개념이 도입되어 Data 송·수신에 의해 필요한 모든 정보 및 제어가 가능토록 설계되어 있다.

또한 대형 정보표시판을 설치하여 발전소 상황 파악에 필요한 정보를 한눈에 인식할 수 있으며, 모든 전산기능 고장시에도 발전소 안전 운전이 가능하도록 Back-up 설계가 보장되었다.

그리고 신호검증 및 보상처리 기능을 통해 운전원이 처리해야 하는 정보의 양을 경감시키며 컴퓨터 그래픽을 사용하여 필요한 정보에 대한 효과적인 접근, 불필요한 정보의 억제 및 중요도에 따른 정보의 우선 처리를 할 수 있도록 되어 있다.

○ 발전소 건물 및 기기 배치의 최적화

원자력발전소의 건물 및 기기의 배치 설계는 안전성은 물론 이용률 향상을 위한 운전·보수·접근성 및 경제성 등 발전소 운영 전반에 걸쳐 그 미치는 영향이 매우 크다. 「신형경수로1400」의 계통 구성 및 설비 형식은 울진 3, 4호기 등 국내원전과 미국의 System 80⁺ 및 EPRI-URD 설계 개념을 참조하고 그간의 건설 및 운전 경험을 반영하여 최적의 기기 및 건물 배치가 가능하도록 하였다.

특히 보조건물은 4-Train 안전주입계통 설계를 감안하여 격납건물을 둘러싼 형태의 4분할(Quadrant Wrap-around)배치로 이루어졌으며, 발전소 부지활용을 증진하고 기기 배치 최적화로 운영의 편의를 도모하고자 양호기 사이에 공용설비 및 운영 사무실 등을 수용한 통합 건물이 배치되어 있다.

○ 안전성·경제성 높은 원전 설계

원자력발전소의 안전성과 경제성 확보는 '두 마리의 토끼'에 비유된다. 안전설비가 추가됨에 따라 원전의 안전

성은 증가될 수 있으나 경제성은 불리해진다. 그러나 「신형경수로1400」은 한차원 높은 안전성과 경제성을 동시에 확보하기 위하여 기존의 설비추가 개념보다는 설계방식의 재검토를 통해 설비의 단순화·표준화 및 모듈화 등을 추진함으로써 경제성을 극대화하였고, 장기적으로 표준설계인가를 통해 인허가 기간의 단축은 물론 설계 정보를 전산화하고 발전소 건설·운영 정보를 체계적으로 종합관리할 수 있는 정보관리체계를 구축하여 건설관리 및 운영·유지 비용 절감을 도모하였다.

나. 향후 전망

1992년부터 금년말까지 10년간에 걸쳐 정부·산·학·연 공동 개발로 추진해온 차세대원전 개발사업은 최종 목표 연도인 금년말까지 이를 성공적으로 마무리할 계획이다. 그리고 「신형경수로1400」 원전 첫호기를 오는 2010년 9월에 준공하여 가동한다는 목표로 2004년말까지는 건설 상세설계 등 건설 착수에 필요한 모든 준비를 차질없이 추진해 나갈 계획이다.

「신형경수로1400」은 발전용량을 기존의 100만kW급(한국표준형원전)에서 140만kW급으로 확대함으로써 보다 경제적인 발전이 가능하며, 원자로 등 주요설비의 성능을 강화하여 원전수명을 현행 40년에서 60년으로 연장할 수 있도록 설계함으로써 원전의 경제성 향상에 크게 기여할 것으로 평가된다. 특히 기존 원전에 비하여 안전 설비를 더욱 보강하고 있어 안전성이 크게 향상되었으며, 최첨단 디지털 제어시스템과 인간공학 개념을 적용한 주제어실을 도입함으로써 안전성은 물론 운전 편의성이 대폭 개선될 것으로 평가된다.

따라서 「신형경수로1400」 건설사업은 21세기 초 우리 나라 전력사업의 주역으로서 그 역할을 더욱 확고히 하고 국내 원전산업 기술을 한단계 상승시켜 세계원전 산업계에 선도적 위치를 구축할 수 있을 것으로 확신한다.