'선두권' 원전 기술력 - 2015년 완벽한 자립이 목표

- 1990년대말 한국표준형원전건설로기술자립달성, 차세대원자로도개발완료 -

우리나라는 1968년 경남 양산군의 월내 · 길천 · 고리지역을최초의원전부지로 선정하면서부터원전건설에착수하였으며, 1978년4월고리1호기가첫상업운전을개시함으로써 원자력 발전 시대에 돌입하게 되었다. 국내첫원전인고리1호기와 고리2호기그리고가압중수로형원전인월성1호기는 외국의 공급자에게 설계, 제작, 건설, 시운전에 이르는 모든 권한과 책임을 맡기는일괄도급계약(turnkey) 방식으로추진되었다. 이방식은플랜트의 성능, 가격, 공기등에대한사업주의위험부담이줄어드는 이점이 있으나 기술 이전이나 기자재의 국산화를기대할수는없었다.

기술 습득 및 국산화 추진

고리3, 4호기부터 우리나라는 사업 추진 방식을턴키방식에서분할발주방식(non-turnkey)로 변경하여 건설 기술 습득을 도모하였다. 분할 발주 방식이란 사업주(당시한전)가사업관리를주도하고종합설계 용역, 원자로 설비 공급, 터빈/발전기 설비 공급, 원전 연료 공급, 시공 등을 분야별로 전문 업체에 분할하여 계약하는 형태이다. 즉, 국내 업체의 참여 폭을 확대하고 기술 축적이 가능하도록 분야별 외국 주계약자 밑에 국내 업체들이 하도급으로 참여하는 방식이었다. 보조 기기는 국산화가 불가능한품목을제외한 모든기자재를국내 제조업체에 발주시켰으며, 시공은 국내 전문건설업체가수행하였다.

또한, 고리3, 4호기부터 울진1, 2호기까지는설비 용량을 95만kW급으로 대형화하여 국산화율 제고와 기술 축적을 도모함과 동시에경제규모확대에따른전력수요의 증대도감안하였다.

기술 자립 도모

1970년대 두 차례의 석유 파동 경험으로 부존자원의영향이 적고경제성이높은기술집약적인에너지 개발에대한국민적공감대가 형성되면서, 1983년7월 원전 건설 기술자립을통한원전설계및기자재국산화율90% 달성과 표준형 원전건설에의한 건설비절감을위해「원전건설사업장기추진방향」을수립하였다. 이어1984년7월기술 자립 촉진 항목이 포함된「원자력 발전 경제성제고방안」이정부정책으로확정되어기술자립추진기반을마련하였다.

이어1985년에착수된영광3, 4호기건설사업과연계하여원전건설기술자립추진을도모하였으며, 이를위해국내역할분담사와외국기술보유사(CE, GE, S&L) 간에 기술 도입 계약(TTA)을 체결하였다. 전산코드를포함한기술자료의도입, 교육훈련의수행등체계적이고종합적인 원전건설 기술자립을추진하였으며, 영광3, 4호기와 동일기종의원전을주어진공기및예산범주에서 품질 요건에 맞게 독자 설계, 제작, 건설할수있는기술능력의 95%를 1995년 말까지확보하는것을목표로하였다.

한국 표준형 원전의 탄생 및 건설

원전 건설 기술 자립을 도모하기 시작한 1986년말, 우리나라의원전건설기술자립률은 60% 정도였으나1995년 3월 및 12월 준공한 영광3, 4호기의 준공 시점에서는 95%를달성하였다. 이후우리나라는한국적인특성에맞는한국표준형원전(OPR1000 : Optimized Power Reactor 1000)의건설을추진하였다.

최초의한국표준형원전은영광3, 4호기

기술 자립 목표 및 실적

구분		가중치	목표	실적
종합 사업관리		15	98%	98%
설계	플랜트 종합 설계	21	95%	95.3%
	원자로 계통 설계	7	95%	95%
	원전 연료 설계	2	100%	100%
	계	30	95.5%	95.5%
제작	원자로 설비	24	87%	87%
	터빈 발전기	11	98%	98%
	계	35	90.4%	90.4%
원전 연료 제조		3	100%	100%
시공		17	100%	100%
계		100	95%	95%

를 참조 발전소로 건설하여 1998년 8월 및 1999년 12월에 각각 준공한 울진3, 4호기이다. 울진3, 4호기의 사업 특성은 한전이 주체가 되어 원전건설 전분야에 표준화를 추진하였다는 점이다. 이는 국내 업체가 영광 3, 4호기 건설을 통하여 일부 핵심 부문을 제외한 전분야에 걸쳐 충분한 기술자립을 달성했다는 것을 의미한다.

울진3, 4호기 이후 2002년 3월 및 12월에는 영광5, 6호기를, 2004년 7월 및 2005년 4월에는 울진5, 6호기를 준공하였다. 한국표준형 원전의 반복건설은 영광3호기의 63개월 건설 기간(최초 콘크리트 타설 ~ 준공)을 울진6호기에서는 55개월까지 단축함으로써 경제성이 크게 향상하는 효과를 이루었다. 또한, 이후 한수원의 30년 원전 건설 및 운영 경험과 설계 경험을 토대로 한국표준형 원전의 설계개선사업을 통해 많은 개선사항을 반영한 개선형 한국 표준형 원전(Improved OPR1000)으로 2010년 12월 및 2011년 12월 준공을 목표로 신고리1, 2호기를, 2012년 3월 및 2013년 1월 준공을 목표로 신월성1, 2호기를 건설하고 있다.


신고리1, 2호기 건설현장(2008. 6).

신형 경수로 APR1400의 개발 및 건설

영광3, 4호기의 건설이 한창이던 1990년대 초부터 원자력계에서는 10년 이후를 염두에 둔 독자기술 확보를 위한 준비가 필요하다는 인식이 팽배해 있었다. 특히, 미국 CE사의 System 80+, 웨스팅하우스사의 AP-1000, 프랑스의 1600MWe급 EPR 노형 개발 등 국제적인 신형원전 개발추세와 전력수요 등을 감안하여 새로운 대용량 원전 개발을 통해 경제적인 국내 보급은 물론, 수출까지를 고려한 신형원전의 개발필요성이 대두되었다.

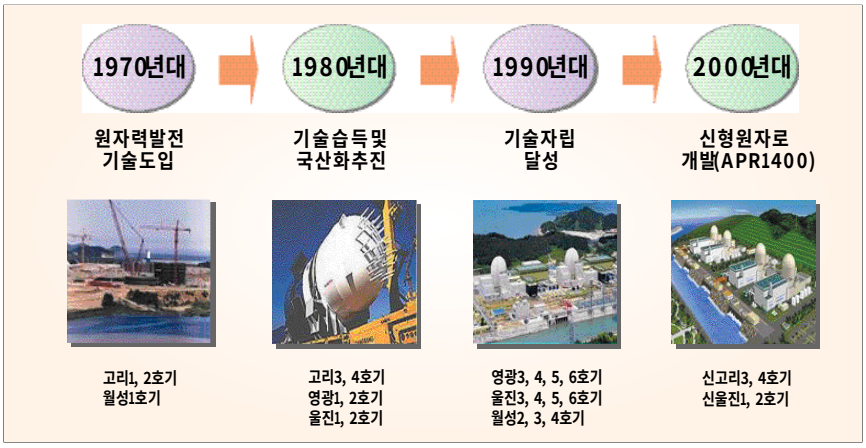
이러한 환경 아래 1992년 정부에서는 차세대원자로(KNGR) 기술개발사업을 국가선도 기술개발사업(G-7)으로 확정하였으며, 그해 12월부터 산·학·연 공동으로 본격적인 기술 개발에 착수하여 2002년 5월 과학기술부로부터 표준설계인가를 취득함으로써 10년만에 차세대원자로 기술개발사업을 성공적으로 완료하였다.

신형경수로인 APR1400은 안전설비 신뢰도 향상, 사고완화 및 방사선 방출 최소화, 설계수명 60년 확장, 안전성 및 경제성 향상은 물론, 한국인의 체형과 습성을 고려한 첨단 주제어실 설계요소를 충분히 반영한 원전으로 2007년 부지정지에 착수한 신고리 3, 4호기에서 최초 적용하여 건설 중이다. 이후 2009년 도착공 예정인 신울진1, 2호기 등 2010년대 중반 이후 우리나라 전

APR1400과 OPR1000의 비교

구분	APR1400(신고리3, 4)	OPR1000(신고리1, 2)
설비 용량	140만kw급	100만kw급
설계 수명	60년	40년
내진 설계	0.3g	0.2g
안전성	노심 손상 빈도 2.4×10-6/RY	노심 손상 빈도 8.3×10-6/RY
경제성	건설 단가 : 1,950천원/kw	건설 단가 : 2,385천원/kw
환경 친화성	국내 최초 심층 취배수 방식 선택	-
중앙 제어실	디지털 워크스테이션	아날로그+디지털

우리나라의 원전건설 기술자립 추진경위



력공급의주력노형으로채택될예정이다.

원전 건설 기술, 세계 선두권 진입

1979년미국의TMI 사고, 1986년옛소련의 체르노빌사고이후 반핵단체의 영향력이커짐에따라 1980년대초반부터전세계 대부분의 국가에서는 원전의 추가 건설이 거의 중단되었다. 그러나, 우리나라는지난 40여년간에너지자원빈국을극복하기위한 정부의일관된정책에 따라원전 건설이 지속적으로추진되었다. 또한, 원전도입초기 외국 기술에 의존하던 단계에서 1980년대 중반부터체계적인교육을 통한 우수인력 확보와산업체간특성을 고려한 원전건설기술자립을추진함으로써1990년대부터는 한국 표준형 원전(OPR1000외)을 반복 건설은물론, 우리기술로개발한신형경수로 1400(APR1400외)을건설하는등풍부한경험 및고급인적자원을보유하게되었다.

설계, 제작, 시공, 사업관리등분야별원전 건설 기술력을 다른 나라와 직접적으로 비교하기는 어려우나 그 어느 나라 못지않은 우수한 수준을 보이고 있다. 설계 및 기자재 제작분야는한국형 표준원전이세계 상위권의우수한운영실적을보이는등이미 선두권에 진입한 것으로 볼 수 있으며, 시공 분야도한국형원전의반복건설을통해축적한경험및실적은해외원전과비교해도1년이상단축된우수한경쟁력을지니고있다.

건설(준비) 중인 국내 원전의 건설 단가(준공 시점 경상가격 기준)

구분	신고리1, 2	신월성1, 2	신고리3, 4	신울진1, 2
건설단가(천원/kw)	2,386	2,268	1,945	2,147

외국 원전의 건설 단가

구분	Summer1, 2	Flamanville#3	Belene#1, 2	Diama#1
국가	미국	프랑스	불가리아	일본
건설단가(US$/kW)	4,455	3,176	3,003	3,234
노형	AP1000	EPR1600	VVER1000	ABWR
사업현황	계약체결	계약체결	계약체결	예상
출처	Nucleonics(2008. 5)	Nucleonics(2008. 2)	NOVOSTI(2008. 1)	KISTI(2008. 4)

사업관리분야도신고리1호기부터NPCMS (원전건설관리시스템) 운영을통해건설사업관리 전 분야에 대한 전산화가 완료되어 페이퍼리스(paperless)실현하였으며, 사업관리선진화한국표준형원전의반복건설로 건설 비용도 최적화하여 경제성과 관련된경쟁력도지니고있다.

다만, 아직까지 기술 자립이 되지 않은 원자로 냉각재 펌프 및 계측 제어 설비의 핵심분야도국산화를추진하여신울진1, 2호기 건설 사업에 반영을 추진 중이며, 핵심 코드 분야도 정부의 Nutech 2015 과제와 연계, 기술 자립을 계속 추진하여 2015년에는원전건설의완전한기술자립을목표로하고있다.

절대적 경쟁 우위 확보에 매진해야

2007년말현재우리나라는 20기의원전을 건설, 운영 중에 있으며 국내 발전량의 약 36%를 담당하고 있는 세계 6위의 원전 강국으로 부상하였다. 그리고 최근의 고유가행진및기후변화협약발효에따라2030년까지는 원전 발전 비중을 대폭 확대하는 것을추진하고있다.

원전이 우리나라 완전한 주력 전원으로 자리잡고 또한해외진출을위해서는무엇보다도 경쟁력의 절대적 우위를 확보해야 한다. 이는최적의 건설 기간 및 비용 투입은물론완전한기술자립을필요로하는것이다. OPR1000의경우 해외 진출을 고려해신월성2호기를 47개월로 단축하는것을 목표로 추진 중에 있다. 또한, 설비 용량이 1.4배만큼 큰 APR1400은 신울진1, 2호기 이후 신규 원전에서는 48개월의 건설 기간을 목표로 하고 있다. 이를 위해 원자로 냉각재배관 설치와원자로내장물설치작업 병행수행, 모듈화공법등신기술/신공법의 도입, 구매/시공착수전설계완료등을추진하고있다. 사업관리업무도간소화, 표준화를 지속적으로추진하여 최적 비용 투입을도모하고국내외교육훈련의강화를통해 직원 능력 배양은 물론 경험 인력 활용 방안을강구하는등건설분야전문인력양성을 통해 해외 진출에 대비하고있다.

노대종
한국수력원자력(주) 사업본부
사업처장

국내 원전 건설 기간(최초 콘크리트 타설 준공)

구분	영광#3	울진#3	영광#5	울진#5	울진#6	신고리#1	신월성#1	신고리#3	신울진#1
건설기간	63개월	61개월	59개월	58개월	55개월	53개월	52개월	60개월	58개월
준공시기	1995. 3	1999. 8	2002. 5	2004. 7	2005. 4	(2010. 12)	(2012. 3)	(2013. 9)	(2015. 12)

외국 원전 건설 기간(최초 콘크리트 타설 준공)

구분	원 전 명	노형또는용량	건설기간	비고
중국	링아오 II 1호기	CP1000	60개월	건설중(2010. 12)
일본	도마리3호기	PWR(912MW)	65개월	건설중(2009. 12)
핀란드	Olkiluoto 3호기	EPR1600	65 77개월	건설중(2010 11)