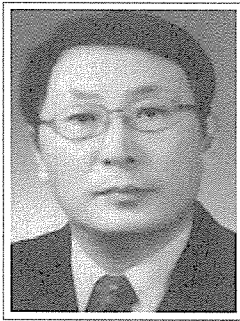




# APR1400 기술 개발 경험 및 향후 계획

김병섭

한수원(주) 원자력환경기술원 건설기술실 부처장



## APR1400 개발 경험

### 1. 개발 배경

#### 가. 해외

세계적으로 수많은 원자력발전소가 건설·운영·해체되면서 원자력 산업계는 나름대로 많은 기술과 경험을 축적하여왔다.

그러나 1979년 미국 TMI와 1986년 소련 Chernobyl 원전 사고는 원자력산업에 대한 일대 위기를 몰고 왔다. 특히 TMI 사고에 따라 미국 원자력규제위원회(USNRC)는 TMI 사고 후속 조치로 안정성을 보

강하는 차원에서 운전중이거나 건설중인 원전에 대해 사고를 완화하는 각종 설비를 추가로 설치할 것(Backfitting)을 요구하였다.

TMI와 Chernobyl 원전 사고에 따라 지금까지 원전 설계시 고려하지 않았던 중대 사고에 대한 관심이 높아지게 되었으며, 원전 설계에 이를 고려할 필요성이 대두되었다.

이에 따라 기존 원자력발전소의 안전성은 일부 보완되었지만, 원전 설비의 최적화가 설계 단계에서부터 고려되지 않음으로써 궁극적으로 원전의 경제성이 떨어지게 되었다.

이에 따라 1980년대 후반부터 원자력 선진국들은 화력 발전 등 타전원 대비 경제성 우위 확보를 위해서는 대용량 신형 원전 개발의 필요성이 절실함을 인식하게 되어 ABWR, Sys. 80+, EPR, APWR 등 안전성과 경제성이 조화된 차세대 원전에 대한 설계 개발을 추진해 왔다.

#### 나. 국내

국내적으로는 1980년대 초 영광

3,4호기 사업을 통한 원전 건설 기술 자립 계획을 통하여 선진 외국으로부터의 턴키 방식에 의한 원전 수입국에서 탈피하여 일보 전진된 원전 복제 건설 능력을 확보하게 되었고, 이후 영광 3,4호기가 모태가 된 한국표준형원전(OPR1000)의 반복 건설을 통하여 원자력 설계 기술 자립 시대로 진입하게 되었다.

한편 국제적인 신형 원전 기술 개발 추세와 국내 에너지 수입 현실 등을 감안하여 우리도 원자력 선진국과 같은 수준의 새로운 신형 원전 개발을 통해 단 순 복제 기술에서 벗어나 자체적인 원전 설계 기술을 확보함으로써 경제적인 국내 보급은 물론 수출까지 고려한 원전 설계 개발 필요성이 대두되었다.

이러한 배경으로 1992년부터 해외에서 개발중인 원전과 안전성과 경제성 등의 성능 측면에서 국제 경쟁력이 가능하고 기술 자립을 통한 선진국 기술 보호주의에 능동적으로 대응하고자 차세대 원자로 기술



개발을 추진하게 되었다.

A. 사내 : 노형 전략 수립  
(1991. 04.)

○ 기본 방향

- 원자력발전소의 국내 자력 설계 · 건설 목표
- 기존 원전 기술 자립 계획과 연계
- 실증된 신기술을 적용하여 표준화를 통한 다수기 건설
- 단계별 노형 전략
- 1단계(1990년 초~2010년)
  - 표준경수로(1000MWe급)를 주종 노형으로 하여 점진적 개량

- 보완 노형으로 중수로 건설
- 2단계(2010년~2030년)
  - 차세대 원자로(APR1400) 건설
- 3단계(2030년~)
  - 미래형 원자로(고속중식로) 연구 개발 계획 및 추진

B. 정부 : G-7 프로젝트 확정  
(1992.6)

○ 추진 경위

- 1991. 5. : G-7 전문가 기획단 구성, 발족
- 1991. 8. : 차세대 원자로 기술 개발 G-7 프로젝트 선정(종합과학기술심의회)
- 1992. 4. : 차세대 원자로 기술 개발 연구 기획 완료
- 1992. 6. : 1992년도 선도기술 개발사업추진계획(안) 의결(종합과학기술심의회)

○ 기본 방향

- 한국표준형 원전의 뒤를 잇는 가압경수로형 개발

<표 1> 주요 규제 개념

구분	규제 개념	판단 기준
TMI 이전	- Licensable or Not Licensable	- Code & Standards
TMI 이후	-Licensable or Not Licensable + How much safe ?	- Code & Standards - PSA를 통한 Risk 확인

<표 2> 개량형 원전과 피동형 원전의 주요 특성

구분	개량형 원전	피동형 원전
용량	1,300MWe 이상	600MWe 이하
안전성 개념	- 원자로 정지+안전 주입→ Active Component 사용, 4Train 채택으로 신뢰성 향상	- 원자로 정지: Active Component 사용 - 안전 주입 : Passive Component 사용

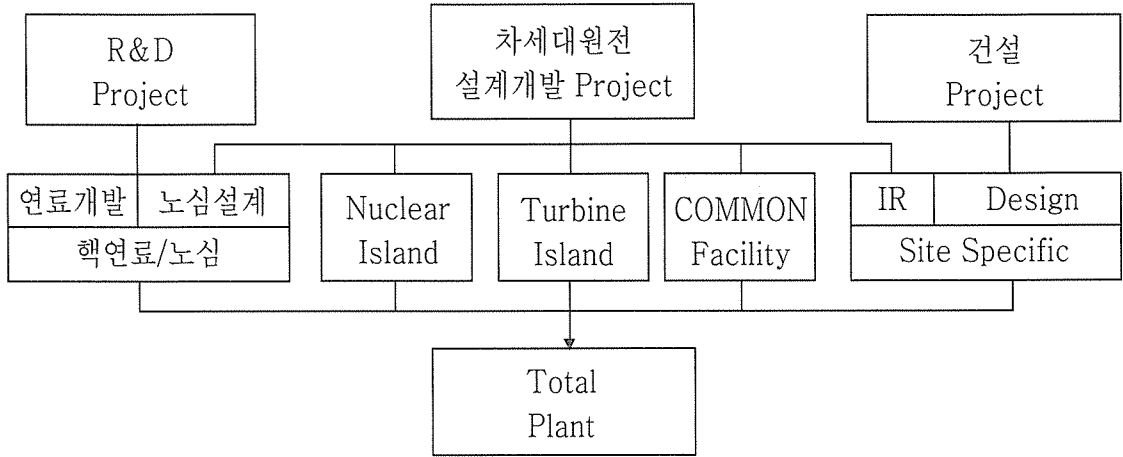
<표 3> 차세대 원자로 개발 현황

국가	공급자	개발 노형	원자로형	용량(MWe)	비고
미국	ABB-CE	System80*	PWR(개량형)	1,350	1997. 06. DC 획득
	W	AP600	PWR(피동형)	600	1999. 12. DC 획득
	GE	ABWR SBWR	BWR(개량형) BWR(피동형)	1,350 600	1997. 06. DC 획득
일본	미쓰비시	APWR	PWR(개량형)	1,300	
	도시바	ABWR	BWR(개량형)	1,300	
프랑스 독일	NPI	EPR	PWR(개량형)	1,600	

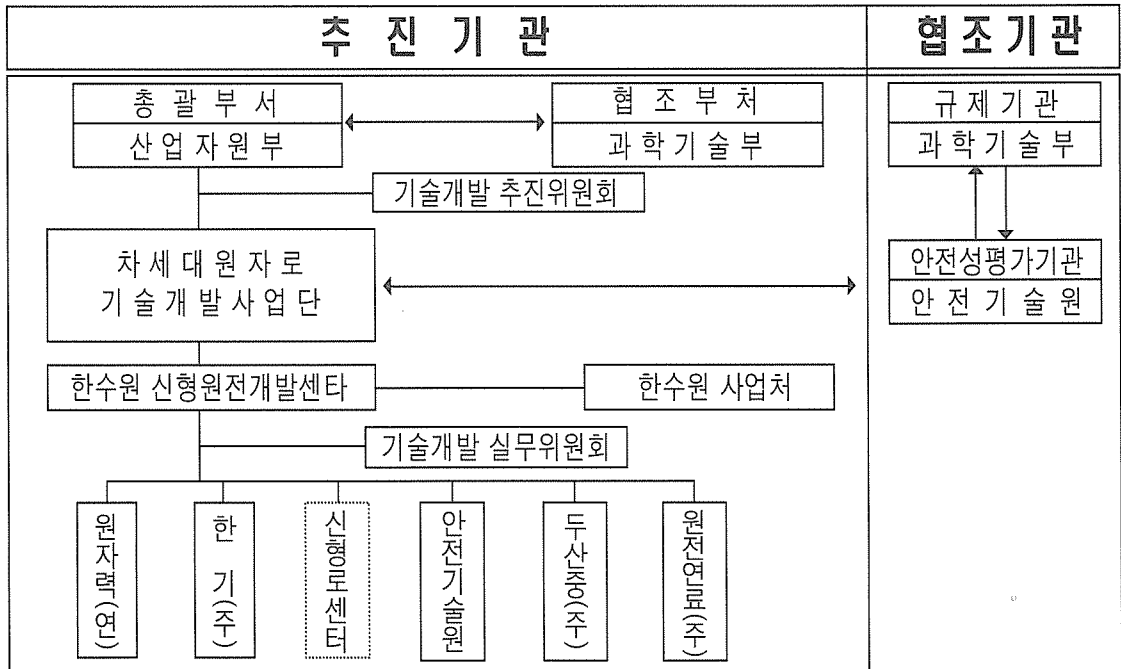
- 안전성과 경제성을 대폭 향상시킨 대내외적인 경쟁력 확보
- 전력 공급 계획에 따른 전력 수요 충족을 위해 대용량(1,400 MWe급) 개량형 원전 개발

2. 기술 개발 개요  
가. 개발 기본 원칙

- 차세대 원자로 기술 개발 사업은 국가 에너지 공급에서 원자력이 차지하는 중요성에 비추어 정부의 강력한 정책 지원하에 G-7 과제로 추진
- 입증 기술 사용
  - 충분한 안전 여유도 확보
  - 설계 단순화(계통 기능 등)
  - 인간공학 기술 적용



<그림 1> 차세대 원자로 개발 범위



<그림 2> 차세대 원자로 기술 개발 추진 체계



<표 4> 주요 설계 개선 사항

항목	표준형원전	APR1400
<경제성 및 성능>		
발전 단가	석탄 대비 3% 우위	석탄 대비 20% 우위
설비 용량	1,000MWe급	1,400MWe급
설계 수명	40년	60년
핵연료 교체 주기	12~18개월	18개월 이상
<안전성>		
노심 손상 빈도	10년만에 1회 미만 (100% 출력시, 내부사건)	10년만에 1회 미만 (저 출력시, 외부사건 포함)
격납건물 손상 빈도	10만년에 1회 미만	100만년에 1회 미만
내진 설계	0.2g	0.3g
핵연료 열적 여유도	8% 수준	10% 이상
비상 노심 냉각 방식	2 Train 저온관 주입	4 Train 직접 주입
S/G 관막음 여유도	8% 여유도(Inconel 600)	10% 여유도(Inconel 690)

건 (Interface Requirements) 만 개발하고 나머지 설계는 건설 프로젝트에서 개발  
라. 추진 체계 <그림 2>  
마. 주요 설계 개선 사항 <표 4>

APR1400 건설·운영 기술 정착화 계획

1. 배경

현재 국내 원전 기술 능력은 영광 3,4호기 건설 당시에 비해 괄목할 성장을 이루었으나, 설계 변경 또는 건설·운영상의 문제 발생시 해외 원전 기술사(웨스팅하우스 등)에 일부 의존하고 있다.

APR1400은 국내 기술로 개발된 우리 회사 소유의 고유 모델이므로 신고리 3,4호기 건설 사업, 후속 원전 사업 및 해외 수출시 기존 원전 사업에서와 같이 해외 원전 기술사의 원활한 기술 지원을 기대하기는 어려운 상황이다.

영광 3,4호기 건설 경험에 비추어 볼 때 APR1400의 최초 상용 원전이 되는 신고리 3,4호기의 건설 및 운영 과정에서 잠재적 불확실성이 내재되어 있으므로 신고리 3,4호기 사업 수행 과정에서 이에 대한 대책 강구가 필요하다.

따라서 우리 회사 VISION 2020 신성장 동력의 하나인 「APR1400 건설·운영 기술 정착화」를 통하여 신고리 3,4호기 성공적 건설, 운영 기술 확보 및 해외 수출 기반을 구축하기 위하여 본 계획을 추진하였다.

<표 5> 기술 확보 대상 기술

분야	분류	대상 기술
건설 분야	계통 기기 설계	Digital 보호 계통 설계 등 90건
	구매	기기 구매 시방서 표준화 등 11건
	시공	원전 복합 모듈 설계 및 시공 30건
운영 분야	운영	시운전 요원 전문화 등 11건
	정비	Dreams 마스터 구축 등 5건
	안전 평가	위험도 감시 기술 등 6건

나. 개발 일정

- I 단계(1992. 12~1994. 12)  
: 개발 노형 확정 및 개념 설계 개발
- II 단계(1995. 3~1999. 2) :  
개념 설계 개발 및 표준 설계 안전성 분석 보고서 작성
- III 단계(1999. 3~2001. 12) :  
표준 설계 인가 취득 및 장기

소요 항목 상세 설계 개발

- 다. 개발 범위
- 부지 특성 관련 설비(SSC : Structures, Systems and Components)를 제외한 발전소 전 설비
- APR1400 설계에는 포괄 부지 특성 적용
- 부지 특성 관련 설비는 연계 요

2. 기술 확보 수준 및 확보 방법

- 확보 수준
  - APR1400 개발 주체로서 KURD 및 표준 설계 유지 및 개량 능력 보유
  - Know-how 뿐 아니라 Know-why 수준까지 확보
- 확보 방법
  - 신고리 3,4 사업과 관련된 기술은 사업 수행을 통해 확보
  - 사업을 통해 확보가 어려운 기술은 연구 개발 수행
  - 지속, 원천적 속성을 갖는 기술별 전담 기관 중점 육성

3. 대상 기술

- 2006년~2015년까지 3단계로 구분하여 총 153건의 건설?운영 핵심 기술 확보

4. 개발 일정

- 신고리 3,4 건설 사업과 연계하여 3단계로 구분하여 시행
- 2, 3단계는 1단계 시행 결과를 반영하여 추진
  - 1단계(2006~2008) : 신고리 3,4 설계 및 시공 단계
  - 2단계(2009~2011) : 신고리 3,4 시운전 단계
  - 3단계(2012~2015) : 신고리 3,4 운영 단계

원천 기술 선진화 방향

1. 개요

현재 원자력 선진국은 원자력 시

<표 6> 원천 기술 선진화 추진 계획

구분	1단계	2단계	3단계
안전 해석 코드	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 원시 코드 개발</li> <li>· 코드 개발 요건 수립</li> <li>· 열수력 실증 실험 수행</li> <li>· 코드 확인 및 기초 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 코드 검증 및 인허가 신청</li> <li>· 열수력 실증 실험 완료</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 검증 및 인허가 완료</li> <li>· 건설 및 가동 원전 사업 적용 착수</li> </ul>
노심 설계 코드	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 노심 설계 원시 코드 개발</li> <li>· 균정수 생산, 노심 해석 코드</li> <li>· 운전 지원, 열수력 코드</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 검증 및 인허가 완료</li> <li>· 노심 감시 체계 개발 완료</li> </ul>	

장에서 주도권 및 기술의 독점적 우위를 확보하고자 관련 기관의 합병(M&A) 등을 통해 거대화, 대형화되고 있으며, 지속적인 노형의 개량, 개선을 추진하고 있다.

우리나라도 APR1400의 최초 건설 호기인 신고리 3,4호기의 성공적인 건설과 운영 및 후속 호기의 건설과 함께 세계 시장 진출을 위해서는 원전의 고유 핵심 기술 확보 및 APR1400의 지속적인 개량, 개선을 통하여 해외 개발 노형과 경쟁력을 확보하여야 하며, 이를 위한 국가적인 원전기술 선진화가 추진되어야 한다. 이를 위해 향후 추진 방향을 제시하고자 한다.

2. 추진 방향

- 원전 기술의 해외 수출 산업화를 위한 핵심 원천 기술 확보
- 원전 기술의 선진화를 목표로 선택과 집중의 원칙을 효과적으로 적용, 수출 촉진 가능 분야 우선 추진
- 산·학·연 기술 협력 체제 구축 및 효율적인 기술 개발을 통

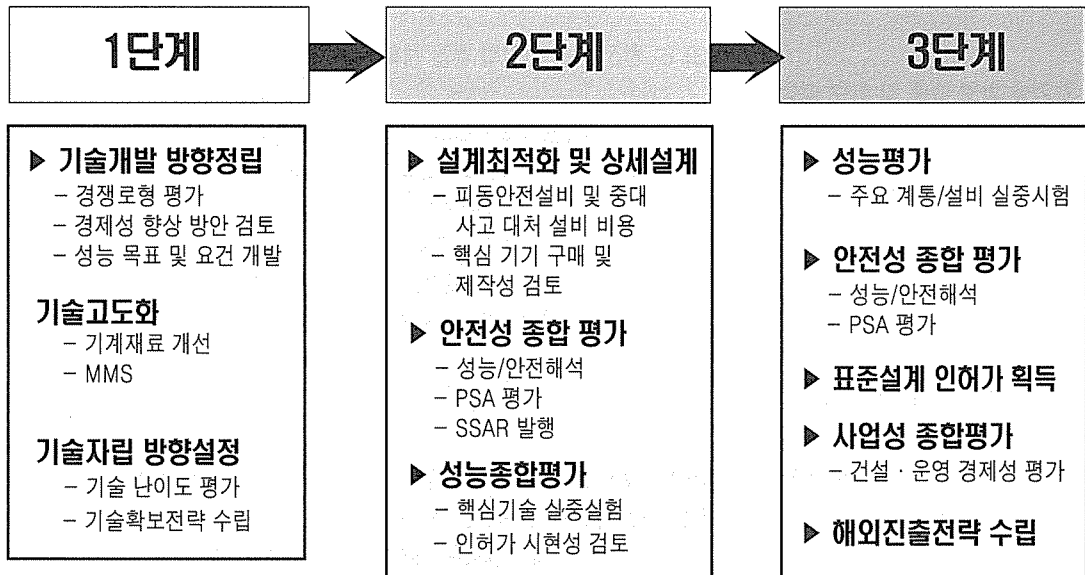
한 원자력산업의 경쟁력 강화

3. 원전 설계 핵심 코드 개발

완전한 원천 소유권을 갖는 경수로 원전용 안전 해석 / 노심 설계 코드 개발

가. 주요 개발 항목

- A. 안전 해석 코드 개발
  - 국내외에서 개발중인 코드의 코드 체계 및 구성 분석
  - 안전 해석 코드의 요구 사항 확정
    - 국내 가동중 및 건설중인 경수로형 원전에 적용 가능
    - LOCA, Non-LOCA를 포함한 제반 열수력 현상에 적용 가능
    - 코드 요건부터 원시 코드까지 소유권 확보가 보장
    - 다차원 노심 코드, 격납 건물 코드 등과의 연계가 가능
    - 사용자 편의성이 고려된 입출력 구조
  - 코드 설계 및 Coding
  - 안전 해석 코드 개발을 위한 실증 실험 수행
  - 확인 및 검증



<그림 3> GEN III + 원전 개발 추진 계획

- B. 노심 설계 코드 개발
- 균정수 생산 코드 개발
- 3차원 노심 해석 코드 개발
- 운전 지원/노심 감시 코드 개발
- 열수력 코드 개발

4. GEN III+ 원전 개발

가. 목표

- 해외 GEN III+형 원전과 안전성, 경제성 등의 경쟁력 우위 확보
- 원천적 기술 소유권이 확보된 설계 및 건설 기술 최적화
- GEN IV 개발 이전까지 국내 전력 수급에 기여

나. 추진 계획 <그림 3>

다. 주요 개발 항목

- 해외 GEN III+ 노형과 경쟁 가능한 용량 및 설계 개념 구현
- 피동 안전 설비 적용

- PCCS, PSCS, 노외 Core Catcher 기술 등
- 설계 최적화
- 계통설계, S/G, 노심성능 개량기술 등
- 기계 재료 개선
- 기계 제작성 개선, LBB 적용 확대, 장수명 관리기술 등
- 운전 단순화
- 제어실 단순화 및 운전성 향상기술 등

맺음말

지난 1992년부터 10년간 국내 기술 역량을 총 투입하여 APR1400 표준 설계를 개발하였으며, 이를 적용한 신고리 3,4호기 건설 사업이 추진되고 있다.

이에 APR1400 건설 사업과 연

계하여 원전 기술 선진화 사업을 국가 연구 개발 사업으로 추진하여, 안정적 증장기 에너지 수급 및 국내 원자력 기술의 해외 진출을 도모해야 한다.

APR1400 개발 당시만 해도 해외 신형로와 경쟁 가능한 위치를 차지하고 있었으나, DC 취득 이후 후속 개발이 수 년간 이루어지지 못함에 따라, 미국, 프랑스 등 원전 선진국과 기술 격차가 상당히 벌어지고 있는 상태이다.

최근 유가 급등, 기후협약 발효 등에 따라, 에너지 자원으로 원자력 산업이 다시 주목 받고 있으며, 중국, 인도, 베트남 등 개도국의 원전 수요가 급격히 증가할 것으로 예상되고 있음을 감안할 때 원자력 르네상스를 대비한 기술 개발이 필요한 최적의 시기라 판단된다. ☉