



백 하 충 부장

〈 특 집 〉 차세대 원자로의 기술개발

次世代原電의 설계기본요건 개발

지리적환경고려, 유럽쪽 기본요건등참작

백 하 충

한국전력공사 기술연구원 원자력연구실 신형로 개발팀 부장

설계기본은 단순화, 인간공학적용, 입증기술사용

가동률 목표 90%, 연료재장전주기는 18개월로

原電 설계 기본요건은 향후 차세대 원전이 갖추어야 할 발전소의 설계 및 성능에 대한 가장 기본적인 토대로써 국내외의 기술수준, 기술개발 전망 그리고 정책적 판단 등을 복합적으로 고려하여 결정하여야 한다.

또한 차세대 원전 개발을 통한 원자력 기술 선진화와 해외 개발 추세를 감안할 때, 기본적으로 외국과 대등한 수준으로 작성되어야 할 것이다.

현재 해외에서 개발된 대표적인 차세대 원전 기본요건은 미국의 EPRI URD(Utility Requirements Document)와 유럽의 EUR(European Utility Requirement)을 들 수 있다.

이들 두 요건간에는 지리적, 사회적 배경의 차이로 개념상 서로 다른 점이 일부 있으나 차세대 원전의 궁극적 목표인 안전성, 경제성 향상의 기본적인 틀내에서 볼 때 동일한 수준인 것으로

판단된다. 국내의 차세대원전의 기본요건은 위의 두 기본요건을 참조로 하고 기타 외국에서의 연구개발 내용과 국내실정을 감안하여 (부록)과 같이 Top-Tier 수준으로 작성하였다.

현재 산업계의 의견 수렴 등을 통한 보완작업을 진행중에 있으며 일부 항목은 정책적 판단으로 결정되어야 할 것으로 본다.

기본요건에 의해 제시된 차세대원

전의 주요 특성은 기존 원전에 대비하여 가장 먼저 대폭적인 안전성 향상을 들 수 있고 향후 세부적 요건 개발을 통하여 운전성 및 보수성 향상을 거둘 예정이다.

안전성의 향상은 설계 여유도의 확장을 통하여 일차적으로 이루어지며 여기에 TMI 또는 체르노빌 사고와 같은 중대사고를 원천적으로 봉쇄할 수 있는 중대사고 대처설비들이 기본요건으로 제시되어 있다.

차세대원전은 안전성향상에 많은 투자를 하지만 또한 경제성이 확보될 수 있도록 기본요건에서는 설계의 단순화, 가동을 향상, 모듈공법 및 건설 착수전 설계완성을 제고, 기존원전보다 단축된 건설공기 등을 요건으로 제시하고 있다. <표 1>은 TOP-Tier 수준에서 현재 윤곽이 잡힌 우리의 기본요건과 EPRI URD 및 EUR과의 주요 차이점을 보여주고 있다.

우리와 이들의 가장 큰 차이점은 방사선 대량 누출과 관련한 안전성 목표로서 국내의 지리적 환경이 유럽에 가까와 토양 오염 방지 기준을 설정하였고 비상계획 범위 축소를 고려하여 보다 강화된 방사선 누출 기준을 제시하

표 1. EPRI URD 및 EUR과의 주요 차이 항목 비교

분 야	기본요건(안)	EPRI URD	EUR
안전성 목표 방사능 누출 빈도 • 빈도 • 대량누출 기준 • 토양오염방지	10E-6/ RY 1 rem/ 24h Cs 137, 100 TBq	10E-6/ RY 25 rem/ 24h 없음	10E-6/ RY Xe 133 10E5 TBq I 131 300 TBq Cs 137, 100 TBq
격납건물 형식	검토중	원통형 철재 + RI 콘크리트 Shield Bldg.	PS 콘크리트 + RI 콘크리트 Shield Bldg.
사용후 연료 저장조 용량	10년 + 1 Core 신기술 적용시 전수명분	좌 동	15년 + 1 Core
Thermal Margin	10 ~ 15%	15%	DNBR 10%
부지지진 요건	0.3g	0.3g	0.25g
RCS 고온관 온도	기존원전보다 낮은 수준	600 °F	언급없음

였다.

<표 1>에서 보이는 설계요건중 또 다른 주요 요건은 격납건물 형태이다.

격납건물은 그 안전성 측면의 중요성과 주요기기의 배치 및 보수 공간 확보성, 건설공기에 미치는 영향을 고려하고 또한 그간에 축적된 국내 기술의 활용 가능성을 참작하기 위하여 현재 신중한 검토가 진행되고 있다.

TOP-Tier 수준에서 기본요건의 개발은 1단계 차세대원전의 기술개발의 주요 목표로서 '94년말 일차적으로 노형개념 및 설계 방향을 제시할 수 있는 수준에서 완료될 예정이다.

또한 2단계 설계작업과 더불어 보다 구체적으로 설계 요건을 제시하여 전력사업자가 원하는 발전소를 지을 수 있도록 할 예정이다.

부 록

次世代原電 설계기본요건(안)

- 凡例 { ※ ① 기본요건항목
※ • 차세대原電기본요건

1. 설계개념

① 설계 Philosophy

- 단순화
- 충분한 설계 여유도
- 인간공학 적용
- 입증기술 사용

특집 : 次世代원자로의 기술개발

② 설계기준의 분류

- LDB(Licensing Design Basis) 인허가요건만족
- SMB(Safety Margin Basis) 인허가요건 이상의 추가 안전성 확보

③ 노심손상빈도

- $10^{-5}/RY$ 이하(내외부 사건)
- $10^{-6}/RY$ 이하(단일 내부 사고)

④ 방사능 대량 누출빈도

- 격납건물 건전성 상실 빈도수
 - $10^{-6}/RY$ 이하
 - $10^{-7}/RY$ 이하(단일 내부사고)
- 방사선 방호목표
 - 1 rem/24시간
 - Cs-137 100TBq

2. 설계일반

- ① 용량 : 1300MWe급
- ② 부지지진 : SSE : 0.3g
- ③ 발전소 설계 수명 : 60년 목표

3. 안전성능

- ① 안전여유도
 - 열적 여유도 10~15%
- ② 운전원 조치 시간 : 30분 이상
- ③ 발전소 정전 대처 시간
 - 8시간, AAC 설치
- ④ LOCA 방호
 - 6" 이하 배관파단시 핵연료 계속사용 가능

4. 운전성능

- ① 가동율 목표 : 90%
- ② 계획외 불시 정지 횟수 : 0.8회/년
- ③ 부하추종
 - 일일부하추종 및 불시출력변동 대응능력 확보
- ④ Load Rejection Capability
 - 100%(소내 부하유지 가능)
- ⑤ 재장전주기 : 18개월 주기

5. 설계 합리화

① 방사선 원형

- 물리적 현상에 근거한 방사선원형 사용(Mitigation System 및 부적합성 평가기준용)

② 내진분석

- 내진분석방법 개선(OBE 분석제거)

6. RCS 구성

① 가압기 용량

- RORV 없이 과도 상태 수용할 수 있어야 함.

② 증기발생기 용량

- 급수 상실사고시 30분의 고갈시간
- 10% 관폐쇄 여유, 인코넬 690 사용

③ 고온관 온도

- 기존 발전소 보다 낮게 유지

7. 비상생각 및 잔열제거

① 비상노심냉각 계통

- 4train ECCS 주입
- 원자로 용기 직접 주입(DVI)

② 잔열제거계통

- 36시간내 저온정지 도달능력
- RCS mid loop 운전의 신뢰성 향상

③ RCS 압력저감 계통

- Feed & Bleed 냉각방식 가능
- 중대사고시 압력 용기 파손 방지
- 격납건물내 재장전 수조와 연결 구성

8. 중대사고 대처요건

① 중대사고 대처 범위

- 중대사고 정의 : 노심손상, 방사능 대량누출사고
- 대처범위
 - 안전성 목표 달성
 - 격납건물 조기파손 방지

② 격납건물 안전 여유도

- 중대사고시 최소 24시간 동안 격납 건물에 ASME Service Level C 또는 CCFP 0.1 이하

유지

③ 중대사고 완화 설비

- 수소제어 : 100% 피복관 반응시 수소농도 10% 이하 유지
- 격납건물 직접가열(DCH) 현상방지 및 노심용융물 냉각
 - 원자로 감압설비
 - 원자로 공동 및 침수설비

④ 방사선 비상계획

- 부지경계에서 방사선피폭선량을 제한
 - 전신평폭(CEDE) : 1 rem/24시간
 - 갑상선피폭 : 9 rem/24시간 초과
- 1 rem/24시간 초과 확률 10E-6/RY 이하

9. 보수성

① 보수성

- 부품의 표준화
- 보수 최소화 설계
- 적절한 접근성 확보
- 작업환경 개선

② 기기접근 및 교체성

- 증기발생기 등 주요 기기들의 수리 및 교체가 용이하도록 설계

10. 운전성

① I & C : 입증된 디지털 기술 최대 적용

② 인간공학요건

- 인간공학적 요건을 설계에 고려
- 운전원 제공정보의 최적화로 지원기능 강화

11. 핵연료 및 폐기물

① 사용후 핵연료 저장조

- 10년 + 1 core용량
- 신기술 적용시 전수명분까지 확장능력 보유

② 저준위 방사성 폐기물 발생량

- 기존원전 대비 폐기물 방출량 최대한 축소

③ 작업자 피폭량

- ALARA 설계원칙

- 집단 선량 당량 : 100man-rem/GWe-yr 이하

- IAEA 권고치인 ICRP 60 만족

- 작업자 선량 : 5년 평균 2 rem/yr

12. 건설성

① 건설공기 : 54개월

② 건설착수시점의 설계공정률

- 표준기본설계 : 안전성 확인에 필요한 설계수준
- 표준상세설계 : 건설비용 및 공정 예측이 가능한 설계수준

③ 모듈화

- 발전소 설계에 모듈시공 반영
- 모듈공법 확대 적용
- 모듈 대형화

④ 격납건물 형태 : 검토중

13. 경제성

① 비용목표

- 기존원전 대비 절감 목표 설정

14. 설계 및 성능관리

① 계통 및 기기 신뢰도 확보 방안

- RAP 및 RCM 개발 적용

② CMP(Configuration Management Program)

- 발전소 수명동안 설계요건과 물리적 형상 및 기능적 특성을 관리할 수 있는 프로그램 개발/운영
- 운영계획 수립
 - 사업참여 조직의 책임과 업무분장
 - 관리대상문서의 종류와 출처식별
 - 설계요건과 문서 관리 체계 등