

개선표준원전의 설계특성과 운영경험

2017. 5. 19 / 제주 국제컨벤션센터
한국수력원자력(주) 정대율



CONTENTS

- 1 표준원전 개선사업
- 2 개선표준원전 설계특성
- 3 개선표준원전 개선결과
- 4 발전소 운영 경험



1

표준원전 개선사업

1. 표준원전 개선사업

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

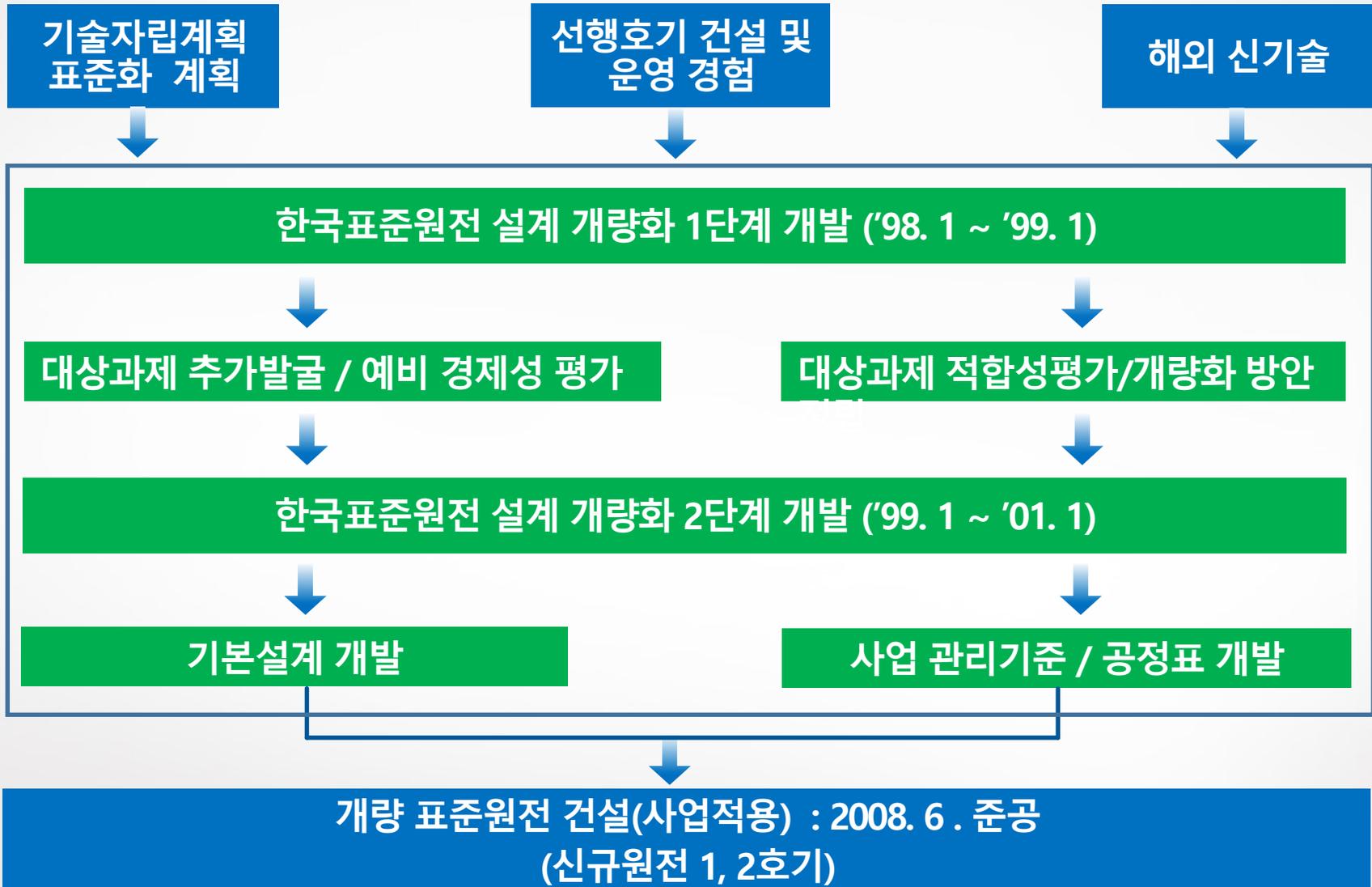
가. 추진목표

- 노형(시설용량) : 가압경수로(PWR, 1,000MWe x 2기)
- 참조원전 : 울진 3, 4호기 (한국표준원전)
- 한국표준원전의 반복건설에 다른 경제성 향상이 한계 도달
- 신월성 1,2호기 건설을 통해 개량형 한국표준원전 완성
- 1,000MW급 후속원전 건설시 개량형 표준원전 반복 건설
- 1,000MW급 해외원전수출시 동 노형 해외건설
- 설계개량화·경제성 제고 목표 : 최소 2,000억원 절감
- 건설공기 단축 : 2개월(56개월 → 54개월)
- 운영 편의성 제고(운전, 정비, 관리 등)

1. 표준원전 개선사업

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

나. 사업추진 전략 및 일정



1. 표준원전 개선사업

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

다. 설계 개선 과제 및 내용

최종 설계 개선 선정 항목(103건)

- ▶ 건물배치 설계 : 9건
- ▶ 구조물 설계 : 8건
- ▶ 원자로 계통설계 : 13건
- ▶ BOP 유체 계통설계 : 46건
- ▶ 전기 및 계측제어 설계 : 13건
- ▶ 신공법 적용설계 : 10건
- ▶ 기타분야 : 4건

주요 설계 개선 내용

- ▶ 발전소 배치 재검토
 - 양호기 공통 복합건물도입
 - 안전계통과 비안전계통의 분리
- ▶ 설계최적화 및 단순화
 - 건물 층고 조정
 - 배관의 두께 및 크기 최적화
- ▶ 계측제어 설비 개선
 - 다중신호 전송방식 확대 적용
- ▶ 운전 및 보수성 향상
 - Utility 계통의 통합설계운영
 - 화학실험실/방사능 출입구역통합
- ▶ 신기술 신공법
 - Deck plate, prefabrication 선별 적용 확대



2

개선표준원전 설계특성

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

가. 플랜트배치 설계분야 (1/4)

구 분	신고리 1,2호기
터빈건물 배치방안	<ul style="list-style-type: none"> · 접선형/방사형 배치형태 모두 가능하나 주급수/주증기 배관설계, 기기배치, 구조물설계, 계통기능성 및 시공성 측면에서 방사형 배치형태가 보다 양호 · 표준원전 및 APR 1400 터빈건물 배치형태와의 일관성 및 호혜성 고려 · 터빈건물 요철 부분 확장, 운전층 Laydown Area 약 21% 확장 (4.4만ft² → 5.1만ft²) · 터빈건물 천정크레인 Span 연장 (130' → 152')
2차보조건물, 출입통제건물 및 방사성폐기물 건물의 복합건물내 통합 배치	<ul style="list-style-type: none"> · 5개의 건물 및 2개소의 폐기물 터널에 분리 배치된 설비들 통합배치 · 동일 본관건물내 근거리 배치(650m → 100m)로 정보교환 용이 · 복합건물내 배치로 보수 이동시간 단축 및 방사선 피폭량 감소 · 방사성계통 필터실과 고준위폐기물 저장지역의 인접배치(500m → 50m), 폐필터 이송시 운전/보수원의 방사선 피폭량 감소 · 복합건물 체적(5.83×10^6 ft³) : 27.7% 감소

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

가. 플랜트배치 설계분야 (2/4)

구 분	신고리 1,2호기
옥외지하 Tunnel 배치 최적화	<ul style="list-style-type: none"> 터빈건물과 보조건물 사이를 관통하는 일직선 형태의 지하공동구 지하공동구 길이(3,230ft → 1,710ft) 지하공동구 체적(135만ft³ → 92만ft³)
보조건물 기기배치 최적화	<ul style="list-style-type: none"> 보조건물, 원자로건물, 핵연료건물의 운전층 Level (EL.142'-0") 일치 승강기 운행구간을 지하 2층(EL. 58'-0")까지 운행할 수 있도록 개선 S/G 취출수계통을 원자로건물 근거리에 위치한 보조건물 지하 1층에 배치하여 계통배관 최적화 건물배치 최적화로 최상부층의 Elevation을 177'- 0"로 층고 축소와 건물폭 축소로 경제성 향상 [건물체적(9.08×10⁶ ft³) : 12% 감소]

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

가. 플랜트배치 설계분야 (3/4)

구 분	신고리 1,2호기
터빈건물 기기배치 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 복수탈염기실의 지하 1층 통합배치로 운전보수성 향상과 계통배관 배치 단순화 · Non-1E D/G 및 연료유 저장탱크실의 터빈건물내 배치로 운전보수성 향상 및 Dead Space 감소 · 공구실, 샤워실, 전기/계측사무실 등 운전/보수원 사무실과 설비들을 추가 배치하여 운전 편의성 향상 · 건물체적($16.89 \times 10^6 \text{ ft}^3$) : 11% 증가
원자로건물 기기배치 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 핵연료건물 선대칭, 원자로건물 일부 기기 및 구조물의 선대칭 배치 · 건설 기기 및 자재운반 편의성을 위해 비상출입구 높이를 지표면과 동일하게 배치 (출입구 중심 EL. 103'-9")

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

가. 플랜트배치 설계분야 (4/4)

구 분	신고리 1,2호기
비상디젤 발전기건물 기기 배치 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · Trench기법 적용으로 Trench 내부로 돌출물들을 배치하여 접근성 및 운전 보수성 향상 · Non-1E 디젤연료유 저장탱크를 터빈건물내 Dead Space를 활용하여 터빈건물내 수용 · 건물체적($0.91 \times 10^6 \text{ ft}^3$) : 36% 감소
핵연료건물 기기배치 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 양호기 공유형배치에 따른 양호기 핵연료건물 선대칭 배치 · 운전원의 이동 편의를 위해 건물내 승강기 설치 (운행구간 : EL. 100'-6"~142'-0") · 재장전수탱크(RWT) 용량 ($6.5 \times 10^4 \text{ gal}$) : 7% 감소 · 건물체적($2.04 \times 10^6 \text{ ft}^3$) : 4% 감소

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회]
[원전 건설 및 운영 연구부회]

나. 구조물 설계분야 (1/1)

구 분	신고리 1,2호기
건물벽 두께 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 하중강도의 최소화, 방사선 차폐두께 산정방법의 최적화 · NSSS 기기의 내진검증 요건을 만족하는 범위 내에서 벽두께 산정
도장면적 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 비오염지역(사무실 등 청정구역)에는 Partial Height 도장개념 적용 · 도장 적용면적 521,383ft² 감소 (13.6% 감소)
케이블 트레이 지지대 설계개선	<ul style="list-style-type: none"> · 지지대 형상 : 울진 5,6호기와 동일 · 단, 지지대 설치간격 세분화(8'-0" → 6'-0")로 경량화된 지지대 설계 · 지지대 물량 : 711Ton(울진 5,6호기 지지대 물량 대비 약 30% 절감)
배관지지대 설계최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 배관지지대 : 지지대 최적화 전산프로그램인 FOSAPS"를 적용하여 내진범주 I&II, III급 배관지지대 수량을 각각 15%, 10% 감소시킴

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

다. 원자로계통 (1/2)

구 분	신고리 1,2호기
CVCS 설계 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 표준원전 설계 개념을 유지하면서 각 탱크의 수위 경보설정치, A/E 설계 요건 등을 재검토하여 계통의 성능/안전성 보장 조건에서 여유도를 제거하여 용량을 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 재장전수탱크 : 650,000gal(-7%) - 원자로보충수탱크 : 245,000gal(-45.6%) - 수용탱크 : 257,000gal(-46%) - 기기배수탱크 : 9,500gal(-10%)
일체형원자로 상부구조물 (IHA) 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 지지구조물 설치 설계로 내진요건 감소(220g → 60g 이하) · 일체형 원자로헤드 인양장치(IHA)를 설계하여 핵연료재장전 기간 단축 (약 5일, 주공정 2.5일) 및 작업자의 방사선 피폭량 저감

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

다. 원자로계통 (2/2)

구 분	신고리 1,2호기
발전소 감시계통 및 경보계통 통합설계	<ul style="list-style-type: none"> · 발전소 감시계통의 기기 설계 및 공급을 국산화하고 발전소 감시계통과 발전소 경보계통을 통합하여 중복적인 기능 제거 <ul style="list-style-type: none"> - 발전소감시계통(PMS)과 발전소경보계통(PAS)의 경보 및 표시방법 일치 및 유사기능 통합 - 통합에 따른 중복신호를 PDAS에서 제거 - PAS에서 SOE 처리 및 PAS의 Aux. Relay Output Cabinet 제거 - SOE 신호처리 용량 증가 및 해상도 개선
증기발생기 전열관 상부 지지대 설계	<ul style="list-style-type: none"> · 울진 5,6호기의 전열관 마모 원인 제거 또는 완화 방안 이외에 S/G Support Span을 감소시켜 고유진동수를 증가시키기 위해 전열관 상부 지지대 설계보강 <ul style="list-style-type: none"> - Vertical Strip 총 개수(4개 → 5개) - Vertical Strips 간의 최장거리(26" → 22") - Horizontal Strip이 지지하는 첫 번째 전열관 행 번호(44 → 19)

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

라. BOP 유체계통 설계분야 (1/3)

구 분	신고리 1,2호기
SFP 정화계통 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 사용후연료저장조의 Skimmer Loop 제거 · 임시여과설비(RCFS) 제거 · Refueling Pool 정화 Suction 추가 · Refueling Pool 정화펌프 2대 동시 운전가능
원자로건물 살수열교환기 삭제	<ul style="list-style-type: none"> · 원자로건물 살수열교환기 삭제 · 정지냉각계통의 열교환기 공유
판형 열교환기 확대적용	<ul style="list-style-type: none"> · 쉘-튜브형 열교환기 대신에 판형 열교환기 확대 적용 · CCW, SFP 열교환기에 판형 적용 <ul style="list-style-type: none"> - CCW : 3대/계열×2계열×2개호기(12대) - SFP : 1대/계열×2계열×2개호기(4대)
터빈추기증기 와 보조증기 Cross-Tie 배관 삭제	<ul style="list-style-type: none"> · 보조증기 공급원 <ul style="list-style-type: none"> - 발전소 정상운전 : 주증기 (표준원전 : 터빈추기증기) - 발전소 기동/정지 : 주증기 또는 보조보일러 · 터빈추기증기 공급을 위한 Cross-Tie 배관삭제

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

라. BOP 유체계통 설계분야 (2/3)

구 분	신고리 1,2호기
급수펌프 구성 및 용량 조정	<ul style="list-style-type: none"> · 급수펌프 구성 : 터빈구동 주급수펌프 55%x3대로 구성 · 급수펌프 용량 : Surge Margin 제외, VWO 기준의 최대용량 (15,200gpm ← 19,400gpm)
보조보일러 용량 축소	<ul style="list-style-type: none"> · 2차계통 세정/재순환 운전모드시의 최적 재 순환 급수온도 유지 및 인접 후속호기 원전(APR1400) 과 4개호기 공용으로 보조보일러 용량 산정 · 보조보일러 용량 : 180,000lb/hr ← 350,000lb/hr
배관두께 및 크기 재평가	<ul style="list-style-type: none"> · 배관 선정기준 재평가에 의한 최적 배관크기 및 두께를 선정하여 보다 경제적인 배관 크기 선정 <ul style="list-style-type: none"> - 운전특성 및 펌프 TDH를 고려한 배관크기 - 4"이상 Stainless Steel 배수배관에 Sch. 10S 적용
보조급수계통 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 50%x2대 전동기구동펌프 + 50%x2대 터빈 구동펌프로 구성 · 계열간 보조급수공급이 가능토록 보조급수계통 계열간 Cross-Tie 설치 · 보조급수펌프 터빈구동용 증기공급배관에 상호 연결배관 설치

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

라. BOP 유체계통 설계분야 (3/3)

구 분	신고리 1,2호기
복수기 진공계통 설계개선	<ul style="list-style-type: none"> · 복수기 공기제어설비의 중복을 피하여 증기분사 공기추출기를 제거하고 진공펌프 33⅓%×4대로 구성
설계기준 및 중대사고시 수소제어를 위한 PAR 설치	<ul style="list-style-type: none"> · 설계기준사고 대비, 수소재결합기를 피동기기인 Passive Autocatalytic Recombiner (PAR)로 대체 · 중대사고 대비 수소점화기(20대) 설치
액체방사성 폐기물계통 설비개선	<ul style="list-style-type: none"> · 역삼투압설비와 선택성 이온교환설비와의 단일 Package 구성 · 폐액공급 탱크 및 펌프 제거
기체 방사성 폐기물계통 설비개선	<ul style="list-style-type: none"> · 기체 : Header Drain Tank 용량 축소(Surge 기능 삭제) 및 활성탄 전 단여과기 제거 - 탱크용량 : 20ft³ ← 300ft³

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

마. 전기 및 계측제어 설계분야 (1/1)

구 분	신고리 1,2호기
개량 제어방식 적용	<ul style="list-style-type: none"> · 안전 및 비안전 계통의 제어모듈(회로)은 다중루프 제어를 채택하여 경제성 향상 및 공급자 다변화 · 폐기물계통의 MMI에 화면제어방법을 사용하여 최신기술의 적용을 통한 운전성 향상
비상디젤 발전기 용량 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 계통설계개선(관형열교환기를 판형으로 개선)으로 AFW 및 ESW 펌프 용량 감소 · 현재의 6,500kW급에서 5,600kW급으로 축소 · 용량축소로 관련 부대설비 및 설치소요면적이 작아져 시공비절감/유지 보수성 향상
케이블트레이 및 전선관 설계개선	<ul style="list-style-type: none"> · 짧은 구간에 설치되는 전선관을 가능한 한 소형 케이블트레이로 대체 설계하여 전선관 설치 최소화 · 전선관 부속자재중 자재단가가 높은 Union Coupling을 Bolt on Coupling으로 대체 설계하여 공사비 절감
EDB Spare 최적화	<ul style="list-style-type: none"> · 발전소 경제성, 건설성 및 유지보수성 향상을 위해 EDB내 전선관 Spare율을 적정하게 확보 · EDB내 전선관 예상 수량 및 Spare율 <ul style="list-style-type: none"> - 총수량 : 2,824개 - Spare 수량 : 596개 (Spare율 : 20%)

2. 개선표준원전 설계특성

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

바. 신건설공법 적용 분야 (1/1)

구 분	신고리 1,2호기
Prefabrication 및 모듈화 공법 적용	<ul style="list-style-type: none"> · Prefabrication 및 모듈화 공법을 확대 적용하여 시공품질 향상, 작업 환경 개선, 현장의 인력 밀도 감소 등을 통한 시공성 향상 도모 (단, Over-The-Top 공법 불채택으로 벽체라이너, 돔라이너, 천장크레인 일체화 불적용)
Deck Plate 공법 적용	<ul style="list-style-type: none"> · Deck Plate 공법 적용시 비계, 동바리 등의 해체가 불필요하고, 하부 지역의 기전공사와 토건공사 병행 수행 가능 · 기전공사 조기착수, 건설공정의 유연성 확보 및 작업자의 안전성 향상 도모
자동용접기 확대 적용	<ul style="list-style-type: none"> · RCL 배관에 대한 자동용접기 적용시 주공정 단축 가능 · RCL 배관부터 우선 적용한 후 기타 대구경배관에 확대 적용시 장비 이용률 향상 도모 · 자동용접 전문시공업체의 육성방안 강구



3

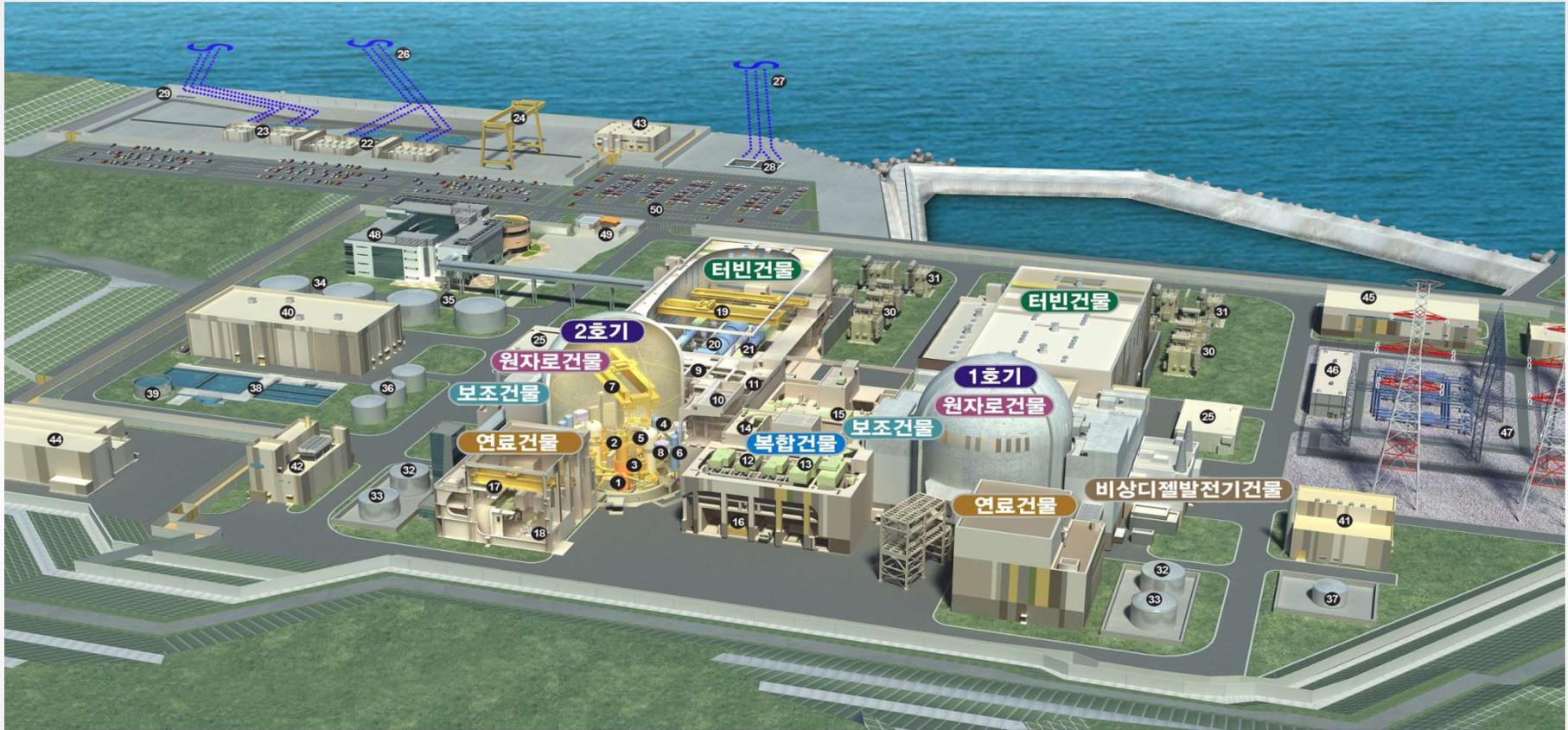
개선표준원전 개선결과



3. 개선표준원전 개선결과

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

가. 신월성 1,2호기건물배치도



원자로건물

1. 원자로용기
2. 일체형원자로 상부구조물
3. 원자로 냉각재 펌프
4. 가압기
5. 증기발생기
6. 안전주입탱크
7. 원형천정크레인
8. 원자로건물 승풍냉각기

보조건물

9. 주제어실
10. 주중기 격리밸브실
11. 주중기 격실

비상디젤발전기건물

복합건물

12. 고농성입자여과기 배기용 공기정화기
13. 탄소흡수기 배기용 공기정화기
14. HELB구역 배기용 공기정화기
15. 제어실 공급용 공기정화기
16. 폐기물 저장구역

연료건물

17. 천정크레인
18. 연료 반입구역

터빈건물

19. 천정크레인
20. 터빈 발전기
21. 습분분리재열기

취배수구조물

22. 순환수 취수구조물
23. 1차측 기기냉각해수 취수구조물
24. 갠트릭크레인
25. 1차측 기기냉각수 열교환기건물
26. 수중취수터널
27. 수중배수터널
28. 수중배수구조물
29. 1차측 기기냉각해수 유입구조물

기타 구조물

30. 주변방기
31. 대기보조변압기
32. 수집탱크
33. 원자로 보충수탱크
34. 순수저장탱크
35. 공수저장탱크
36. 복수저장탱크
37. 보조보일러 연료저장탱크

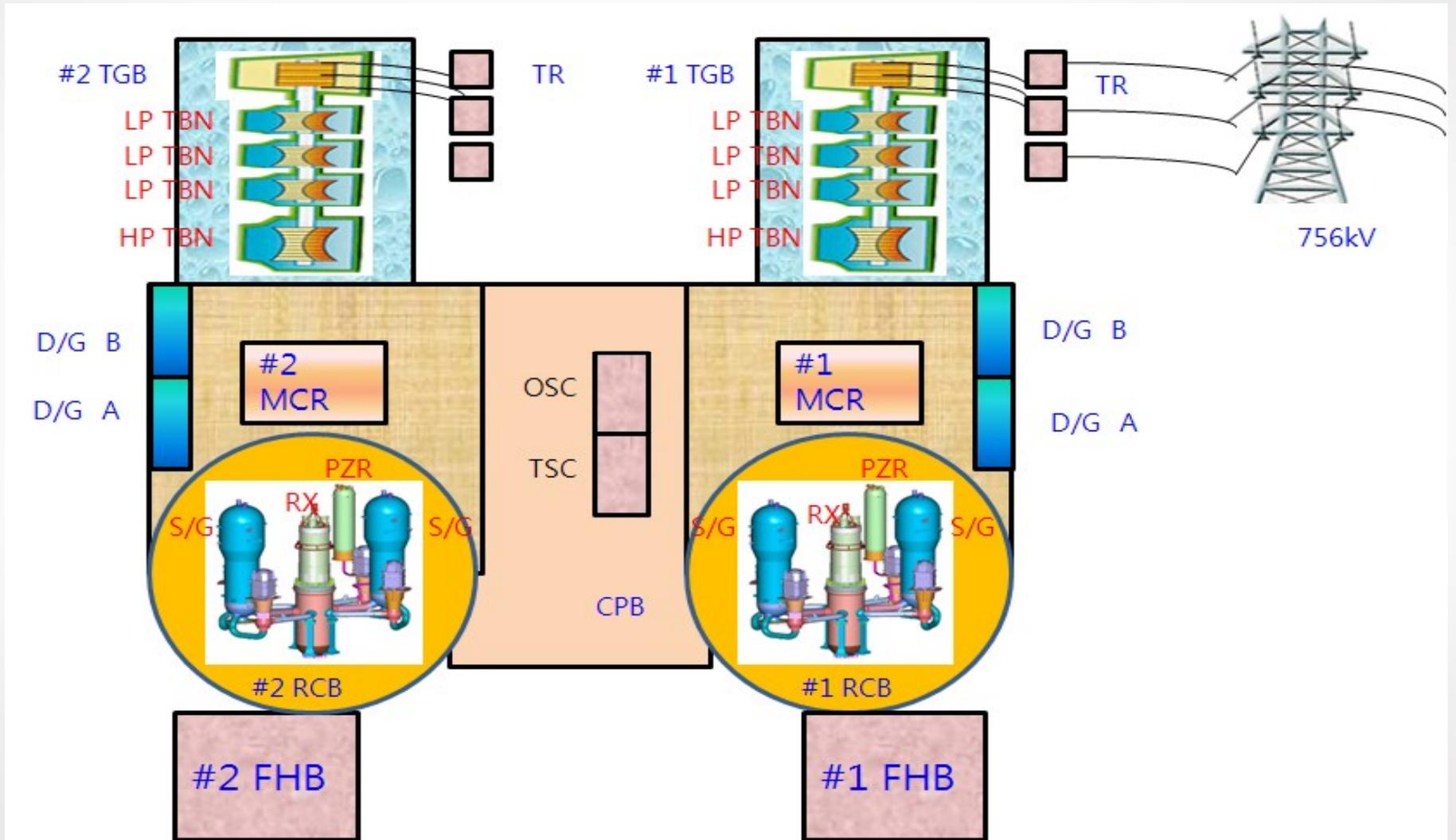
38. 폐수 수조
39. 응집침전조
40. 물처리실
41. 보조 보일러건물
42. 대체교류전원 디젤발전기건물
43. 염소생산건물
44. 중저준위 방사성폐기물 중간저장건물

45. 기기공작실
46. 스위치야드 제어건물
47. 스위치야드 구역
48. 발전사무실(제3발전소)
49. 경비실
50. 주차장

3. 개선표준원전 개선결과

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

나. 주요기기 배치도



3. 개선표준원전 개선결과

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

다. 신고리1,2호기 주설비 공사 개선효과

- 시공물량 저감

공종	단위	울진5,6호기	신고리1,2호기	증감율(%)
콘크리트	CY	469,923	425,942	-9.4
대구경 배관	LF	352,576	296,478	-15.9
	EA	29,419	24,302	-17.4
소구경 배관	LF	359,058	303,110	-15.6
Duct	TON	1,142	893	-21.8
전선반	LF	250,286	199,121	-20.4
전선관	LF	1,862,482	1,490,694	-20.0
케이블	LF	12,904,460	11,172,525	-13.4

- Power Block 면적 축소 : 27%

- RCB, AB(PAB), CPB(ACB, SAB, RWB), TGB, FHB, EDGB



4

발전소 운영경험

4. 발전소 운영경험

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

가. 시공 및 시운전 주요 공정 현황

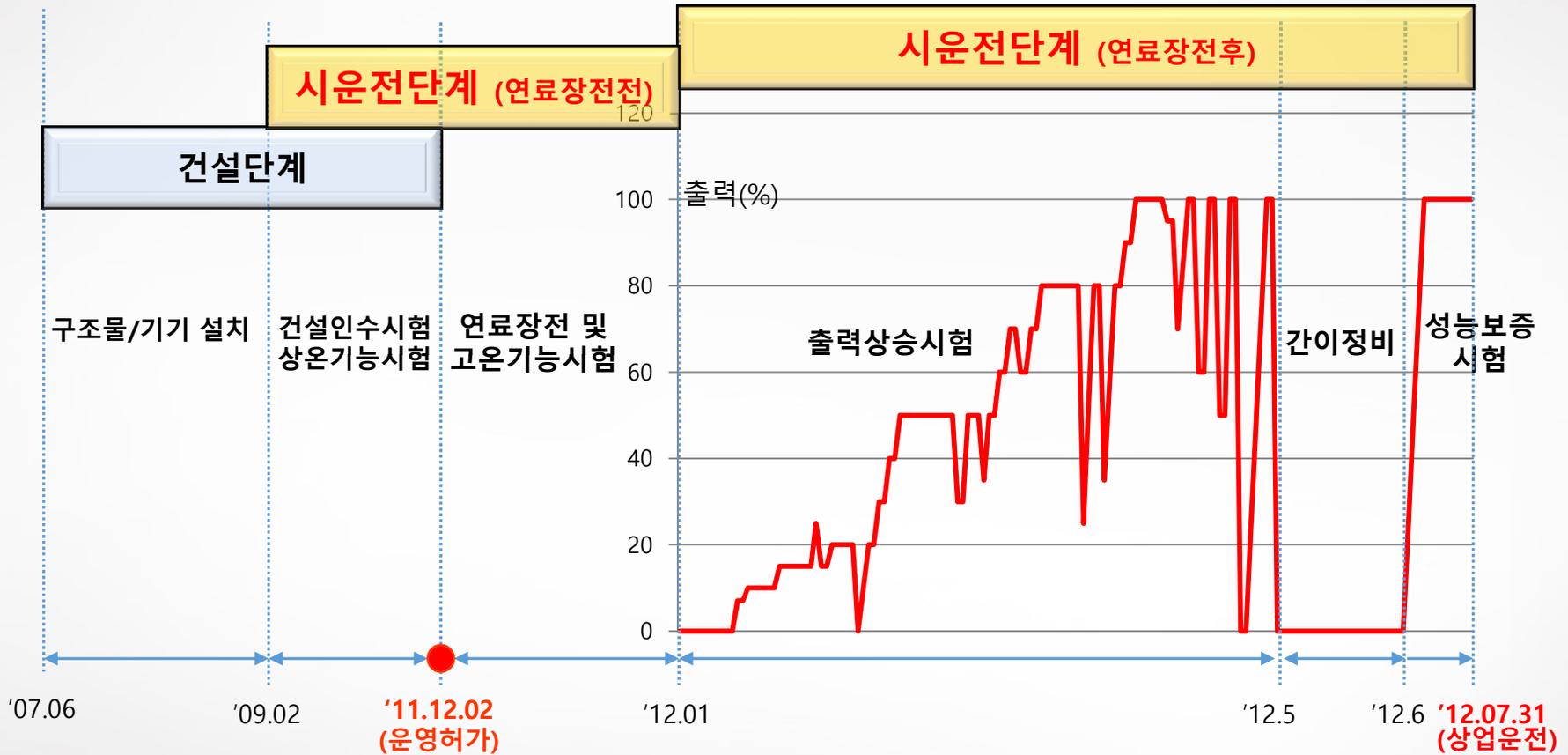
구 분	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	
1호기	기초굴착	콘크리트 타설	원자로설치	전원가압	CHT	HFT	F/L	준공
계획 (IPS)	'07. 6. 1	'07.12. 1	'09. 8. 1	'10. 4. 1	'11. 1. 1	'11. 5. 1	'11. 9. 1	'12. 7. 31
실적	'07. 6. 4	'07.11.20	'09. 7.27	'10. 3.26	'10.12. 1 ~ 12. 7	'11. 4. 1 ~ 5.23	'11.12. 2 ~ 12. 7	'12.7.31
2호기	기초굴착	콘크리트 타설	원자로설치	전원가압	CHT	HFT	F/L	준공
계획 (IPS)	'07. 6. 1	'08.10. 1	'09. 8. 1	'11. 2. 1	'11.11. 1	'12. 3. 1	'12. 7	'13. 1. 31
실적	'07. 6. 4	'08. 9.23	'09. 7.27	'11. 1.17	'11.10. 8 ~ 10.13	'12. 2. 1 ~ 4.30	'14.11.14	'15. 7.24

※ CHT : 상온기능시험, HFT : 고온기능시험, F/L : 연료장전

4. 발전소 운영경험

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

나. 신월성 1호기 시운전 시험 실적



※ 출력상승시험 : 연료장전 후 발전소 출력을 단계별(20%, 50%, 80%, 100%)로 상승시키면서 발전소 성능관련 변수를 취득하여 기기 및 제어계통이 출력변화에 적절히 대응하는지를 확인하는 시운전 최종시험

4. 발전소 운영경험

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

다. 신고리1,2호기/신월성1,2호기 운영실적 (1/3)

○ 연도별 이용률 및 가동률

호기	연도	이용률(%)	가동률(%)
신고리#1	2011.02.28(상업운전)	100	100
	2012	81.2	82.2
	2013	26.6	26.7
	2014	84.8	85.6
	2015	86.3	87.4
	2016	99.6	100
	평균	77.0(90.4)	77.6(91.0)
신고리#2	2012.07.20(상업운전)	98.5	99.9
	2013	40.8	40.7
	2014	95.1	97.2
	2015	84.9	86.8
	2016	75.9	76.5
	평균	77.9(88.6)	79.0(90.1)
표준원전	-	88.6	87.9

4. 발전소 운영경험

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

다. 신고리1,2호기/신월성1,2호기 운영실적 (2/3)

○ 연도별 이용률 및 가동률

호기	연도	이용률(%)	가동률(%)
신월성#1	2012.07.31(상업운전)	95.7	96.7
	2013	38.1	38.3
	2014	99.3	99.1
	2015	71.4	72.6
	2016	84.7	85.6
	평균	76.4(87.8)	77.0(88.5)
신월성#2	2015.07.24(상업운전)	100.3	100
	2016	82.9	83.4
	평균	89.9	90.2
표준원전	-	88.6	87.9

4. 발전소 운영 경험

[2017년 춘계원자력학회
원전 건설 및 운영 연구부회]

다. 신고리1,2호기/신월성1,2호기 운영실적 (3/3)

○ 발전정지 건수

호기	일시	고장내용	구분	평균 정지건
신고리#1	2012.10.02~10.18	제어봉 제어계통 고장	불시정지	0.17건/년
신고리#2	-	-	-	0.00건/년
신월성#1	2012.08.19~08.24	제어봉 제어계통 고장	불시정지	0.40건/년
	2013.04.24~05.02	제어봉 제어계통 고장	불시정지	
신월성#2	-	-	-	0.00건/년
표준원전 (평균)	-	-	-	0.50건/년

※ 발전정지 건수 : 중간정비, 파급정지, O/H 제외

THANK
YOU

