



KHNP

KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD

계속운전 추진 현황 및 개선방안

- 월성1호기 계속운전 -

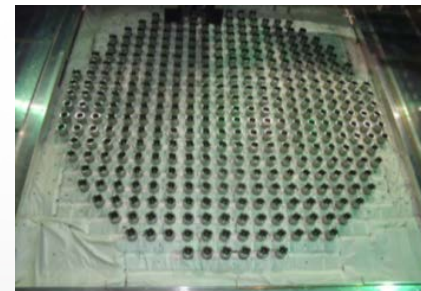
2015.10.28

설비개선실
정영식 팀장

I. 개 요

II. 월성1호기 계속운전

III. 개선 방안





개 요

원자력발전소 현황
규제 요건
인허가 프로세스



1. 원전 현황

- **총 설비용량** : 93,216 MWe(2014)
- **원자력** [20,716MW, 22.2%], **석탄** [27,036MW, 29%], **석유** [4,255MW, 4.6%], **가스** [30,269MW, 32.5%], **수력** [6,467MW, 6.9%], **대체에너지** [4,474MW, 4.8%]
- **원자력발전소**
 - 운전 : 24 호기 [계속운전 2기]
 - 건설/계획 : 4 / 4 호기

[원자력발전소 사이트별 현황]

구분	운전	건설	계획	비 고
고리	6	2	2	6(4)
한빛	6	-	-	6(0)
월성	6	-	-	6(0)
한울	6	2	2	6(4)
합계	24	4	4	24(8)



[원자력발전소 분포현황]

2. 규제 요건 (I)

계속운전 제도

● IAEA의 PSR과 미국 NRC의 운영허가갱신(LR)를 도입, 엄격한 심사기준 적용

* 미국은 운영허가갱신(LR) 제도, 유럽, 캐나다 등은 IAEA의 PSR을 통해 계속운전 허가

IAEA 주기적 안전성 평가 기준 (14개 분야 68개 항목)

- ① 원자로시설의 설계사항
- ② 안전설비의 실제상태 ③ 결정론적 안전성분석
- ④ 확률론적 안전성 평가 ⑤ 위해도 분석
- ⑥ 기기검증 ⑦ 경년열화 ⑧ 안전성능
- ⑨ 운전경험 및 연구결과
- ⑩ 운영 및 보수 등의 절차서
- ⑪ 조직, 관리체계 ⑫ 인적요소
- ⑬ 방사선비상계획 ⑭ 방사선환경영향

미국 NRC 운영허가 갱신기준 (10개 분야 77개* 항목)

주요기기 수명평가

- ① 경년열화 관리대상 선정 평가
- ② 경년열화관리계획 평가
- ③ 주요 기기 수명 평가
- ④ 운전경험, 연구결과 반영 필요사항

방사선환경영향평가

- ① 계속운전 계획
- ② 환경 현황
- ③ 발전소 현황
- ④ 계속운전 영향
- ⑤ 사고 영향
- ⑥ 환경감시계획



*밑줄 부분은 '14.11.19.개정 시 추가한 항목

* 경수로기준, 법적요건 외 발전소별로 추가하여 수행

2. 규제 요건 (Ⅱ)

계속운전 신청시기 [시행령 36조]

- 설계수명기간이 만료된 후 그 시설을 계속하여 운전하려는 경우 설계수명 만료일로부터 2~ 5년 이전에 평가보고서 제출

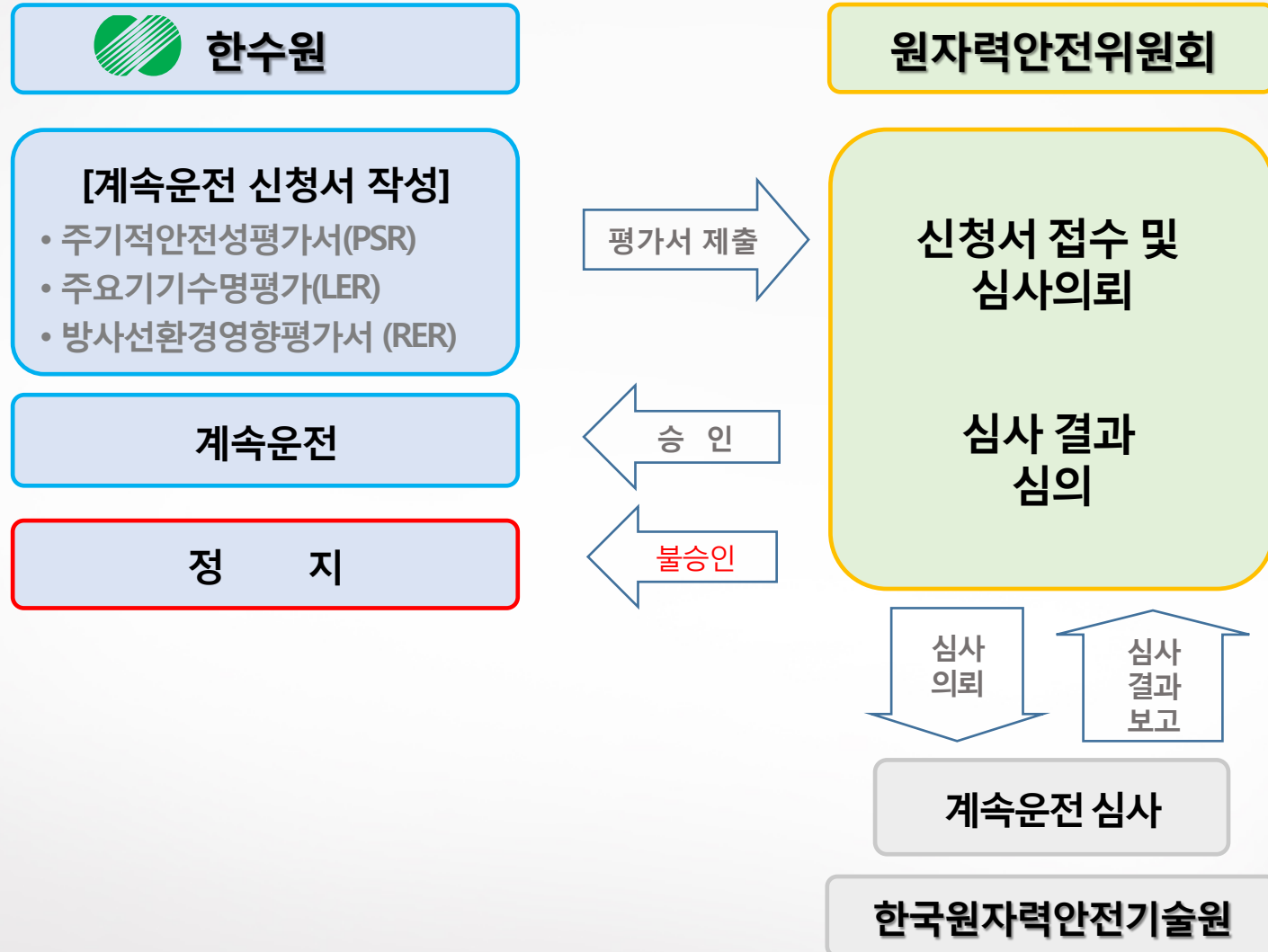
계속운전 심사처리기간 [시행령 39조]

- 계속운전 평가보고서 접수 후 18개월 이내
 - * 단, 평가보고서 보완 또는 개정 등의 기간은 제외

계속운전 허가기간

- 설계수명이 만료된 원전에 대해 안전성 검사 후 법적 기준에 만족되면 10년간 계속운전

3. 인허가 프로세스





월성1호기 계속운전

월성1호기 개요

안전성

경제성

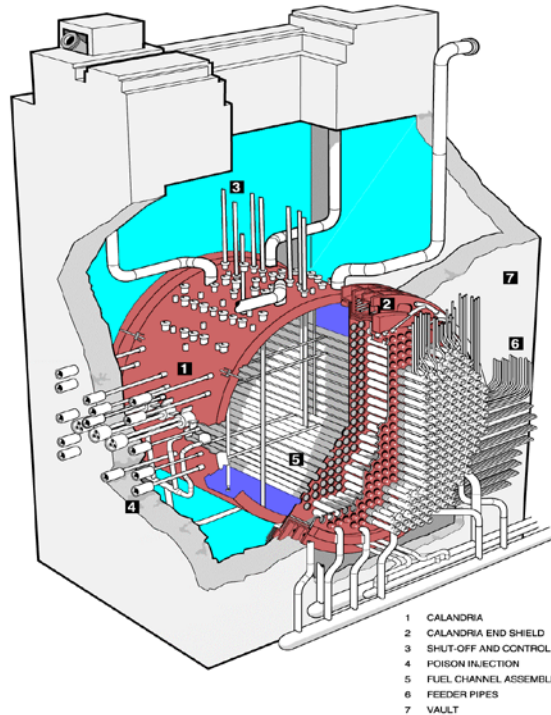
사회적 수용성

추진과정종합



월성1호기 개요

1. 월성1호기 개요



원자로형 : 중수로 (AECU)

설비용량

• 2,061 MWt / 670 MWe

운전이력

- 1978.02.15 : 건설 및 운영허가 신청
- 1982.11.21 : 최초 임계도달
- 1983.04.22 : 상업운전 시작
- 2012.11.20 : 설계수명 도달 (30 years)
- 2015.06.23 : 월성1호기 가동(계속운전)

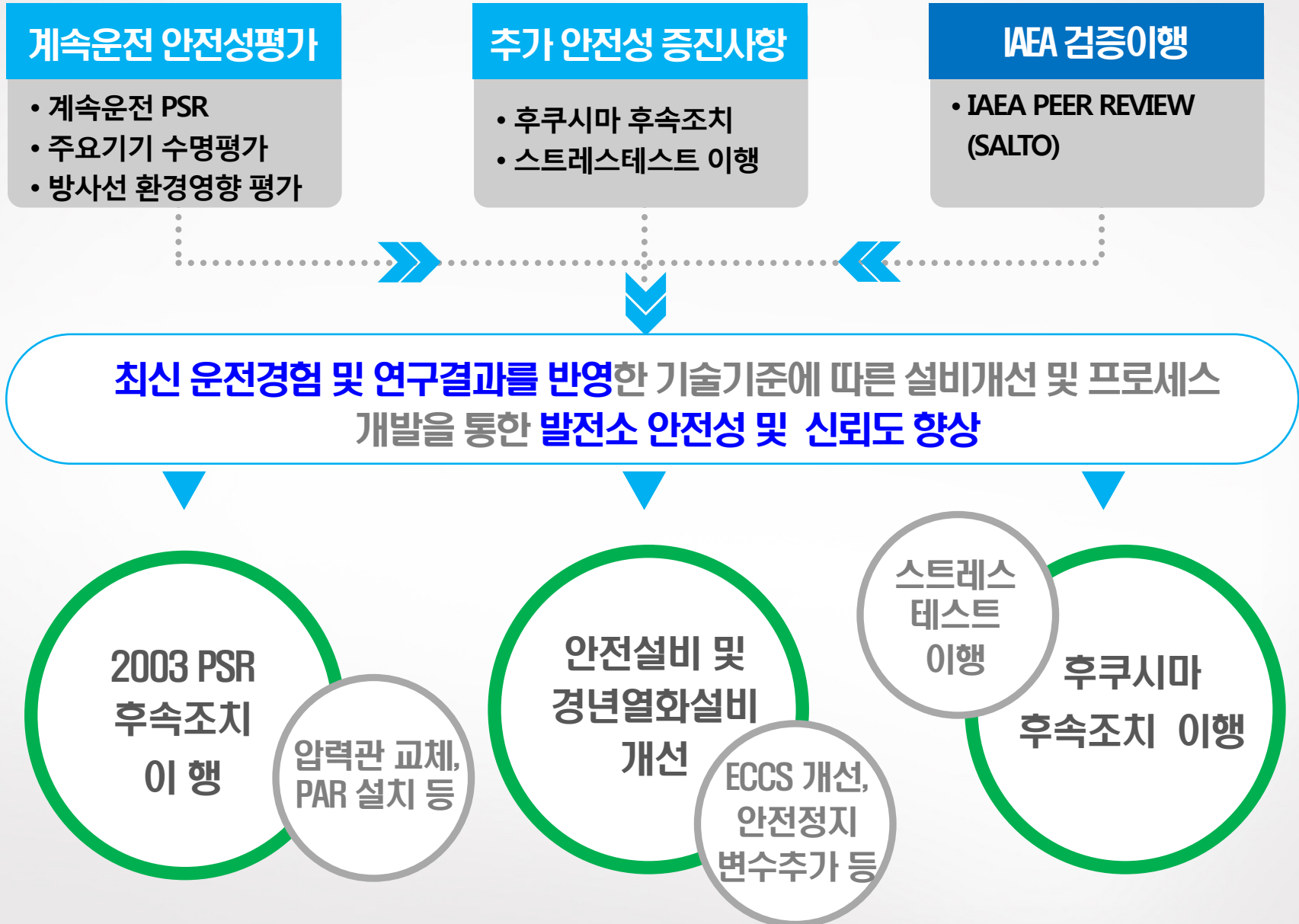
2. 계속운전 요건



원전 안전성	경제성	사회적 수용성
<ul style="list-style-type: none">• 법적 사항 및 기술기준 사항• 추가적인 안전성 증진	<ul style="list-style-type: none">• 원전운영자 관점의 평가• 국가에너지 안보 및 전력시장 관점의 평가	<ul style="list-style-type: none">• 원전주변 지역사회• 정부, 국회, 언론 등

안 전 성

1. 안전성관련 이행사항



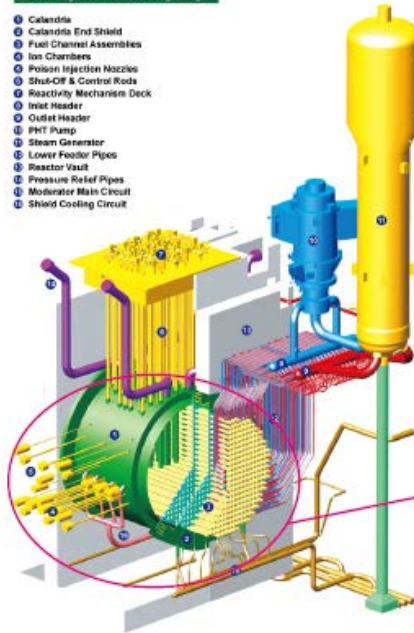
2. 안전성 향상 사례 (I)

원자로 개선

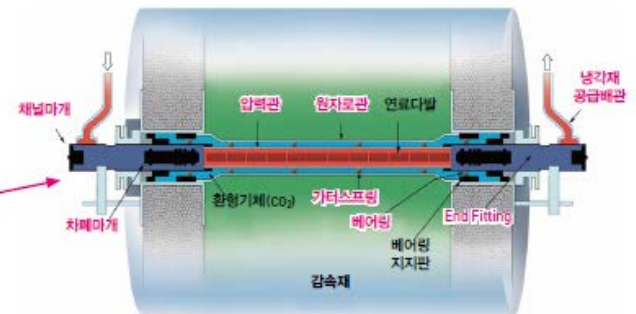
- 압력관 및 원자로관 전량 교체
- 엔드피핑 및 피더 전량 교체
- 원자로 내장품 검사 등

PHT System Cutaway Key

- 1 Calandria
- 2 Calandria End Shield
- 3 Fuel Channel Assemblies
- 4 Ion Chambers
- 5 Poison Injection Nozzles
- 6 Shut-Off & Control Rods
- 7 Reactivity Mechanism Deck
- 8 Inlet Header
- 9 Outlet Header
- 10 PHT Pump
- 11 Steam Generator
- 12 Lower Feeder Pipes
- 13 Reactor Vault
- 14 Pressure Relief Pipes
- 15 Moderator Main Circuit
- 16 Shield Cooling Circuit



교체 후 사진



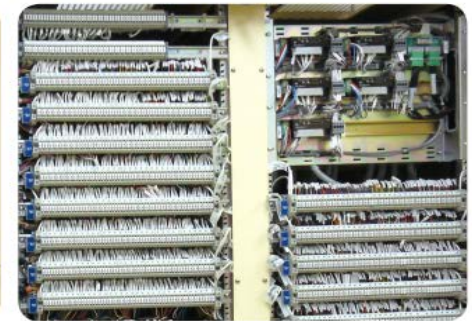
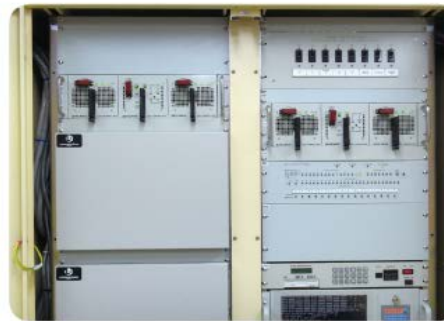
- 핵심설비교체로 인한 안전성 증진 및 30년 이상 계속운전 기반 구축
- 폐로기술 일부 확보 등 설비개선 경험 축적으로 핵심기술자립

2. 안전성 향상 사례 (II)

제어 및 보호계통 개선

- 제어용 전산기 신제품으로 교체 (2대, SSCI-890 기종)
- 기동용 핵계측기 교체, 수위영역제어기 유닛 교체 등

| 제어용 전산기 교체 사진 |



- 중수로 최초 제어용 전산기 전면 교체
- 주요 핵심부품의 단종품 문제 해결 등 장기 안정운영 기반 구축
- 보호계통 개선으로 신뢰도 및 안전성 개선

2. 안전성 향상 사례 (Ⅲ)

전력계통 개선 및 보강

- 13.8/4.16kV 안전등급 차단기 교체(65대)
- 비상디젤발전기 제어반 및 조속기 교체
- 발전기 고장자 재권선
- 이동형 발전차량 및 축전지 등 확보

| 13.8kV/4.16kV 스위치기어 차단기 교체 사진 |



교체 전



교체 후



교체 전



교체 후



- 신 기술기준을 적용한 전원설비 보강 등 신뢰성 및 안전성 향상
- 주요 핵심부품의 단종품 문제 해결 등 안정적인 설비운영 가능

2. 안전성 향상 사례 (IV)

안전계통 개선

❖ 비상노심냉각계통 개선

- ECCS 저압 안전주입 자동화
- 중압 격리밸브 및 열교환기 전단밸브 이중화 설치
- ECCS 스트레이너 교체 등

❖ 각종 안전 정지변수 추가

- SDS#2 냉각재 고압 트립, 중성자 고변화율 설정치 변경
- SDS#1,2 증기발생기 저수위 트립 등

| 비상노심냉각(ECC) 계통 안전도 향상 사진 |



ECC 저압 안전주입 자동화



ECC 중압 격리밸브 이중화



ECC 열교환기 전단밸브 이중화



ECC TSP 캐니스터 산설



- 최신 규제기준을 반영한 ECCS 개선 등 설비 신뢰성 향상
- 원자로 보호계통 안전변수 추가 등으로 노심보호 및 원전 안전성에 기여

2. 안전성 향상 사례 (V)

최신연구 및 운전경험 반영

주제어실 거주성 평가 및 후속조치

- 주제어실 룸별 풍량 조절용 댐퍼 설치 및 누설 0등급 댐퍼로 개선
- 주제어실 지역 TAB(Testing, Adjusting & Balancing) 수행

안전관계통 내 가스축적 평가

- ECCS, 잔열제거계통 및 원자로건물 살수계통 등의 가스축적에 대한 안전성 평가 수행

후쿠시마 후속조치

- 지진자동정지설비 설치, 이동형발전차 및 축전지 확보
- 격납건물 여과배기설비 설치, 원자로 비상냉각수 외부 주입유로 설치 등



- 신 기술기준 및 규제요건에 따른 안전성 평가를 통해 원전의 안전성 증진
- 안전성평가 기술 확보로 가동원전의 안전성 향상에 기여

2. 안전성 향상 사례 (VI)

안전성 및 위해도 분석

안전해석 재수행

- 최신 기술기준(C6 Rev.0 및 Rev.1)에 따라 사건 재분류 및 사고 시 선량한도 재평가
- 캐나다 보다 폭넓게 적용 (C6 Rev.0 적용 200건, Rev.1 적용 23건)

격납용기 및 ECCS 성능요건 검토

- 최신 기술기준(R-7, R-9)에 따라 사고시 격납용기 및 ECCS 성능요건 및 선량한도 평가

고에너지배관 파단해석 재평가(HELBA)

- 배관파단을 가정하여 동적영향이 안전성 관련 구조물, 계통 및 기기에 미치는 영향 평가



- 최신 또는 현행 기술기준에 따른 사고해석의 재수행으로 계속운전의 안전성 확인 및 증진

2. 안전성 향상 사례 (VII)

중대사고 대응

중대사고 대응능력 평가

- 기기생존성 평가, 중대사고 관리지침서(SAMG) 개정 및 설계확장조건(DEC*) 검토 등

* DEC : Design Extension Conditions

광역손상완화지침서(EDMG) 개발

- 원전 광역부지 다수호기 동시다발 사고에 대한 완화전략 개발 등

* 후쿠시마 후속조치 관련 안전성 증진사업으로 추진



- 설계기준사고를 벗어나는 심각한 사고에 대한 대처능력 향상 및 안전성 확보에 기여

2. 안전성 향상 사례 (Ⅷ)

노후설비 개선 및 보강

노후 기계설비 교체

- 고압급수가열기 교체 및 냉방기 교체 등

노후 전력설비 교체 및 보강

- 비상디젤발전 개선, 보호계전기반 및 전력용 변압기 교체 등

각종 제어설비 등 계측설비 교체

- 증기발생기/ 주증기계통 제어설비 및 주제어실 경보설비 교체 등

발전소 취수설비 개선

- RSW 설비개선 및 취수구 회전스크린 교체 등



- 경년열화 대상설비의 적기 조치로 안전여유도 확보
- 노후설비 보강 및 개선 등으로 설비 신뢰성 및 안전성 증진

| 취수구 회전스크린 교체 사진 |



교체 전



교체 후



교체 전



교체 후

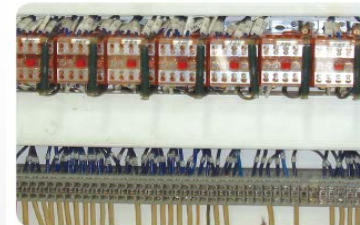
| 비상디젤발전기(EPS) 개선 사진 |



교체 전



교체 후



교체 전



교체 후

2. 안전성 향상 사례 (IX)

화재평가 및 개선

화재위험도 분석 및 후속조치

- 방화문 설치, 화재감지기 추가 설치 등 총 12건의 후속조치 이행

화재방호 안전성 증진사항

- 난연케이블로 교체, 케이블 래핑 및 방화도료 도포, 방화댐퍼 설치, 소화설비 설치 등 총 30건



- 화재위험도 개선으로 안전정지 능력 증대

2. 안전성 향상 사례 (X)

기기검증 및 개선

내진(SQ) 적합성 평가 및 개선

- ECC 열교환기, 4.16kV/480V EPS Transformer, Relay Panel 등 확장앵커 보강
- 비상디젤발전기, EPS Lube Oil Tank, EPS Day Tank 등 그라우팅 및 앵커보강
- Air Accumulator 확장앵커 재정착

내환경검증(EQ) 및 안전성 증진사항

- 내환경 및 난연 성능을 확보한 케이블로 교체
- 환경조건 악화시에도 운전가능한 기기로 교체 등



- 기기검증을 통해 사고 시 안전정지, 노심냉각 기능 유지, 방사선감시 및 격리 기능 등 향상

2. 안전성 향상 사례 (XI)

기타 개선사항

통합경년열화관리 프로그램(AMP) 개발 및 운영

- 피로감시 항목 등 총 43개 항목의 경년열화 프로그램 개발 운영

매설배관의 통합관리 계획 수립 및 이행

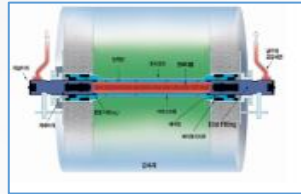
훈련용 모의제어반 신설(중대사고 반영)



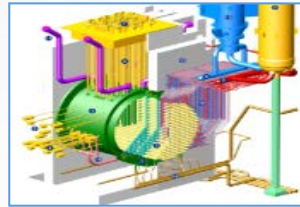
- 장기사용에 따른 설비의 성능저하 경향 분석 등 사전대비 능력 향상
- 운전원의 설비 운영능력 향상

2. 안전성 향상 사례 (XII)

주요 설비개선 현황



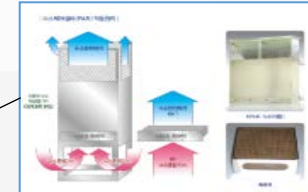
Retubing



피더관 교체



DCC 교체



PAR 설치



HPT/LPT 정비



원자로 정지
변수 추가



MCR 경보창 교체



13.8kV/4.16kV 차단기 교체

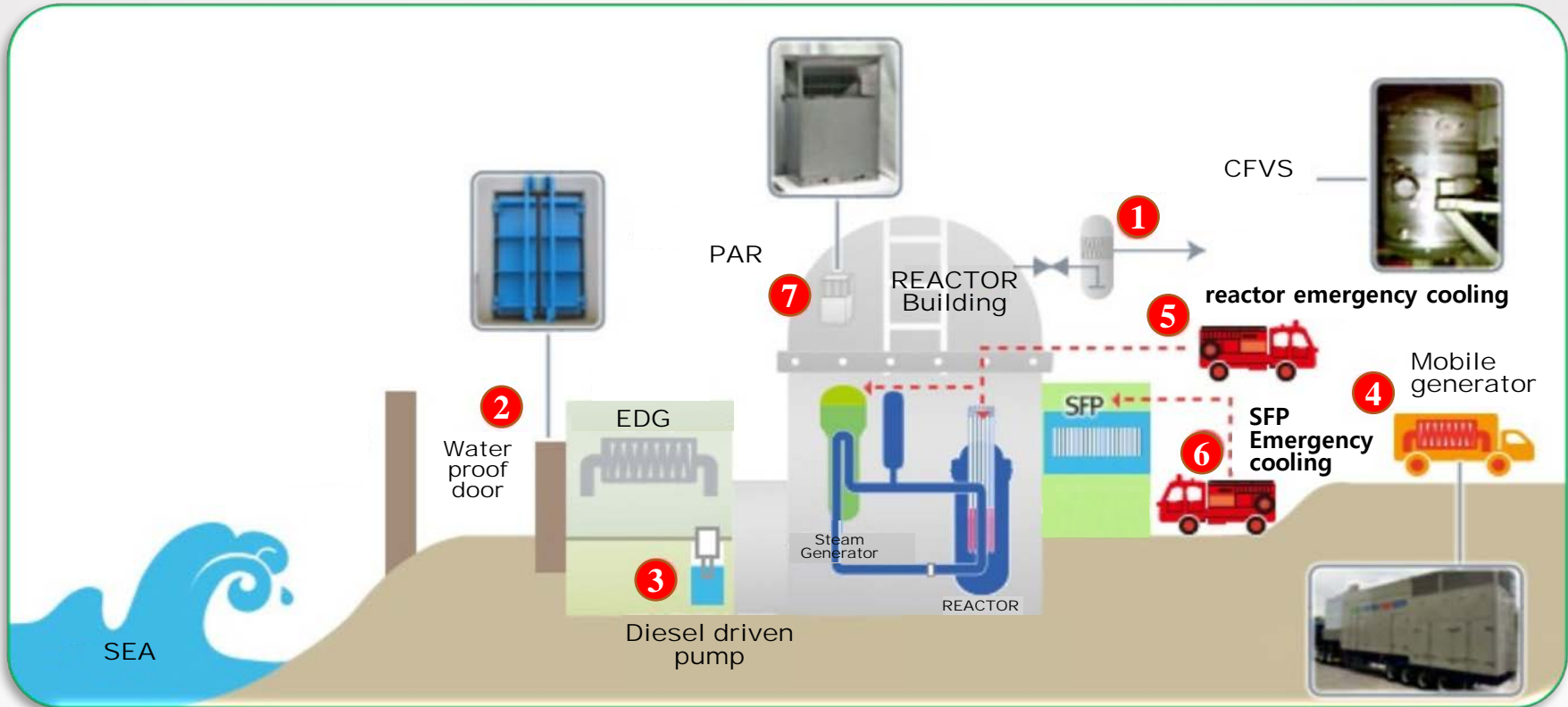


취수구 스크린 교체



ECCS 열교환기
전단밸브 이중화

3. 후쿠시마 후속조치



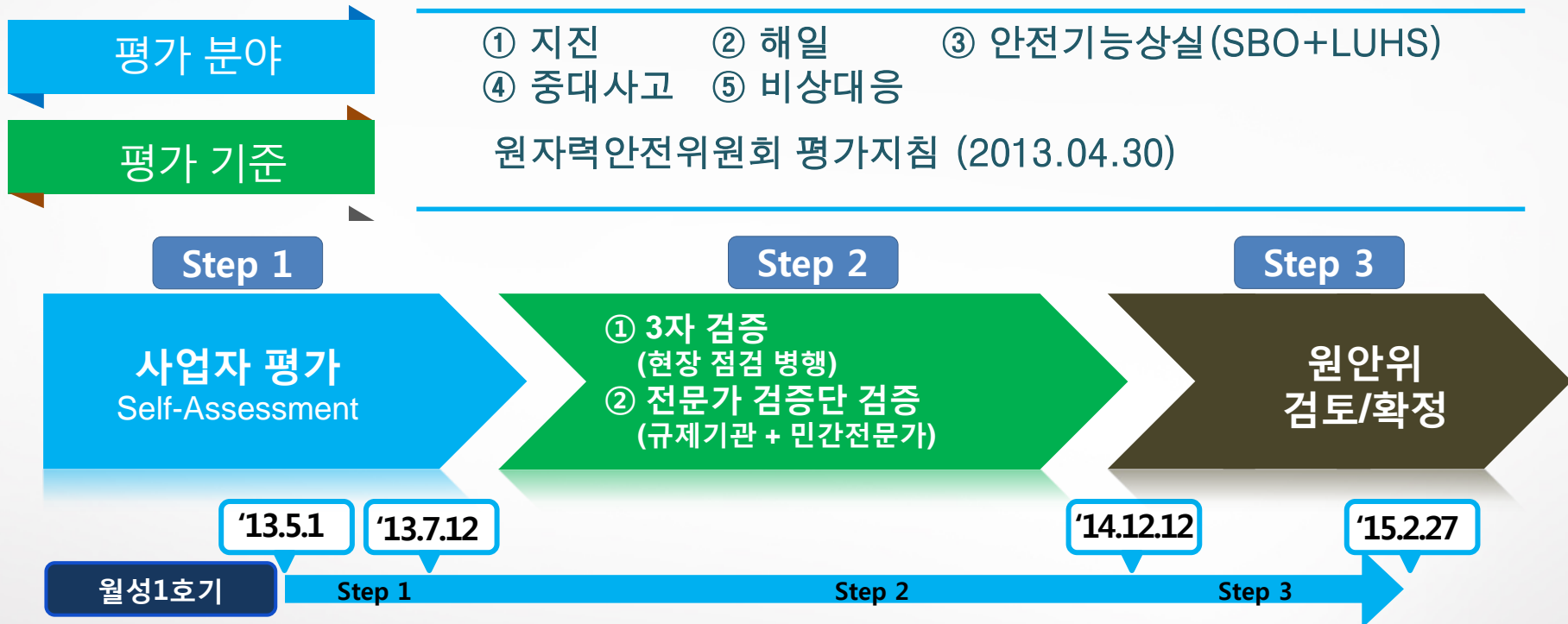
- ① 격납건물 압력상승 방지 및 방사성물질 여과배기설비 설치 (CFVS 설치)
- ② 비상디젤발전기실 등 침수방지용 방수문 설치
- ③ 호기별 방수형 배수펌프 확보 (이동형 디젤펌프)
- ④ 부지별 이동형 발전차 확보
- ⑤ 원자로 및 증기발생기 비상냉각수 외부주입유로 설치
- ⑥ 사용후연료저장조 비상냉각수 외부주입유로 설치
- ⑦ 피동형 수소제거설비(PAR) 설치

4. 스트레스 테스트 (I)

추진배경

후쿠시마 사고 이후, 대통령 공약사항으로 계속운전하는 원전의 안전성을 증명하기 위해 스트레스 테스트를 수행

Stress Test



한수원은 EU stress tests 대비 민간전문가가 포함된 전문가 검증단 검증 및 비상대응 분야가 추가 수행됨

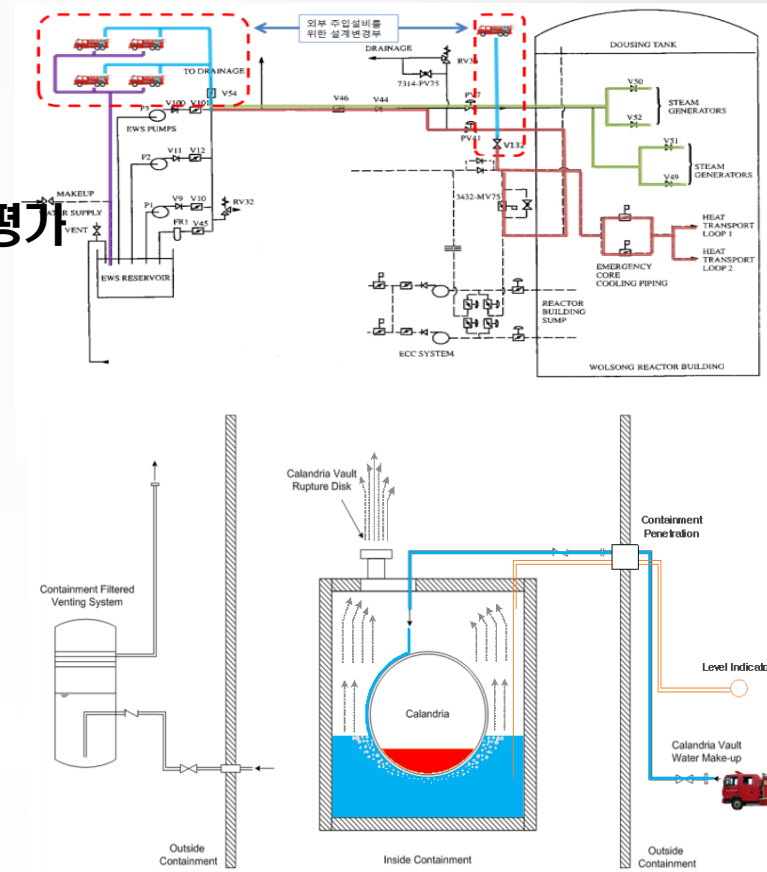
4. 스트레스테스트 (ST) 점검 및 검증 (II)

EU 방식기반의 ST 종합점검 및 검증

- 1만년빈도의 지진재해도 평가
- 0.3g 내진여유도 평가 등 지진 및 해일 대응 능력 평가

ST 검증결과 안전 개선사항 (총 19건)

- 이동형발전차, 내진 축전기 등 정전대비 능력 확보
- 원자로 외부주입유로 신규 설치 등 노심냉각 다원화



- 국내 최초 ST 점검 및 검증으로 극한 자연재해 및 중대사고 대응능력 확인
- ST 점검 및 검증 경험의 공유를 통해 타 원전에 가이드 제공

5. IAEA Peer Review

목 적

- 국제기구에 의한 월성1호기 계속운전 준비사항 및 안전성 검증
- 국제기구 검증을 통한 지역 수용성 증진

추진과정



추진결과 : 만족

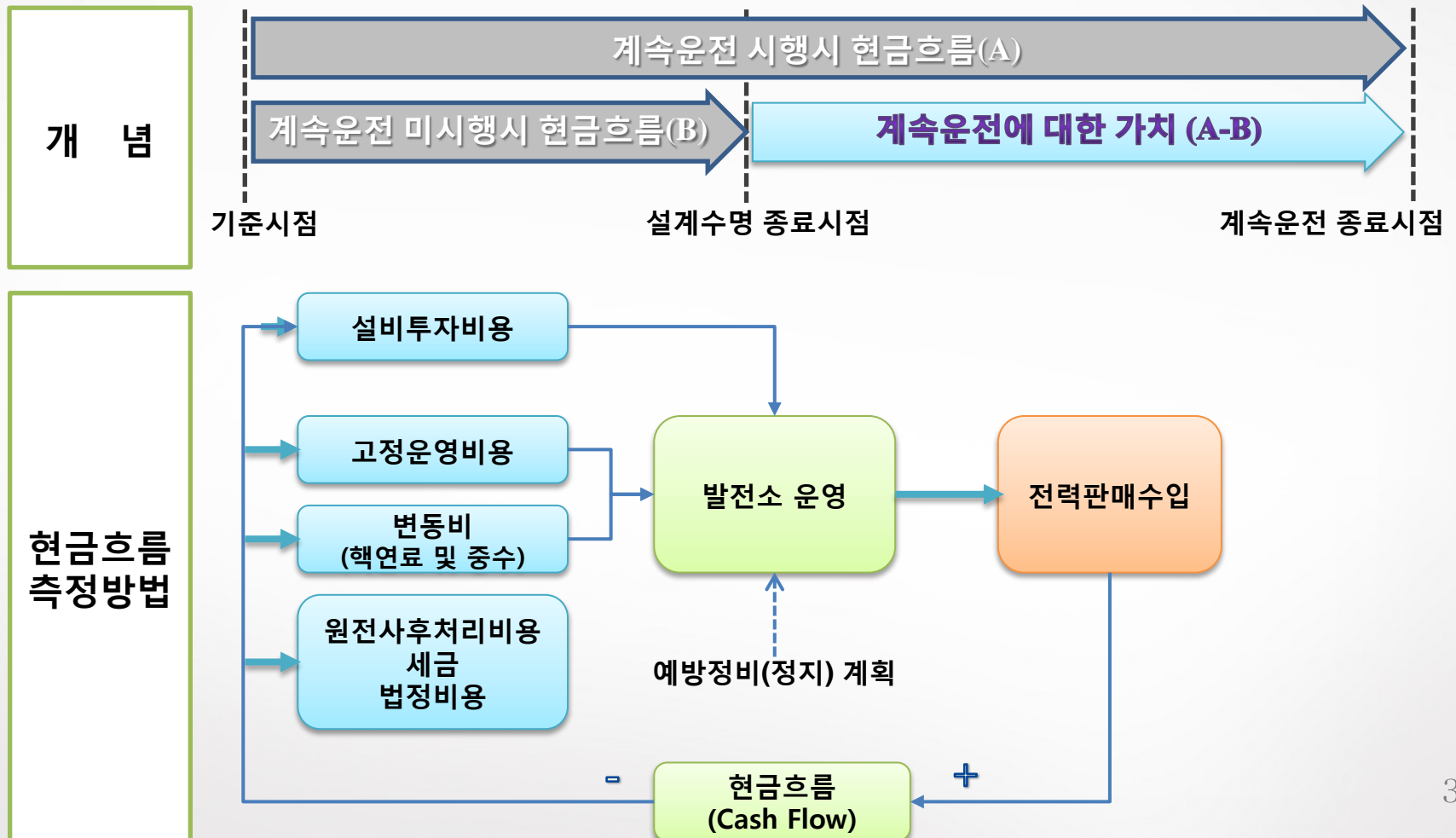
- 점검분야 : 경년열화관리 및 환경영향평가 등 6개 분야 점검
- 점검결과 : 국제원자력기구의 안전기준을 근거로 점검한 결과, 발전소는 매우 건전한 상태이며, 10년간 계속운전 준비가 잘 되어 있음을 확인함
- 후속조치완료 / 진행사항 : 12건 / 1*건

* 격납건물 텐돈관련 연구과제(‘15.12 종료예정)

경 제 성

평가방법 [순현재가치 & 편익비용비율]

- 계속운전을 시행하는 경우와 미 시행하는 경우의 차이를 이용한 경제적 타당성 평가 수행



신규 건설 원전 및 계속운전 비교

- 계속운전 비용은 건설원전의 1/5 수준임

타 전원과 비교

- 2014기준 LNG 기준으로 대체비용이 연간 5800억원이 더 소요됨

환경비용

- 월성1호기 운전시 하루당 15,000 톤의 탄소 저감효과가 있음
 - ➡ 월성1호기 운전되지 않을 경우, CO₂ 비용이 연간 400억원 소요됨



대체



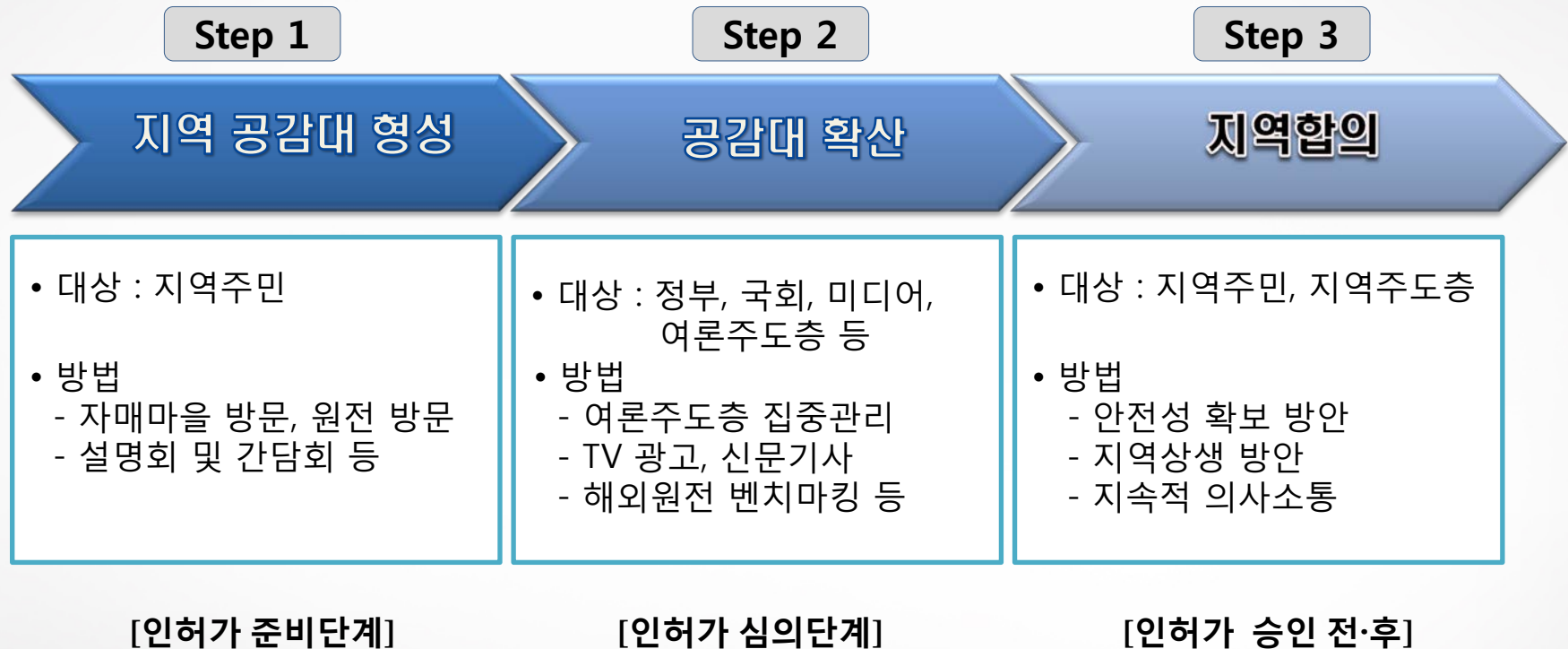
400억원

5800억원

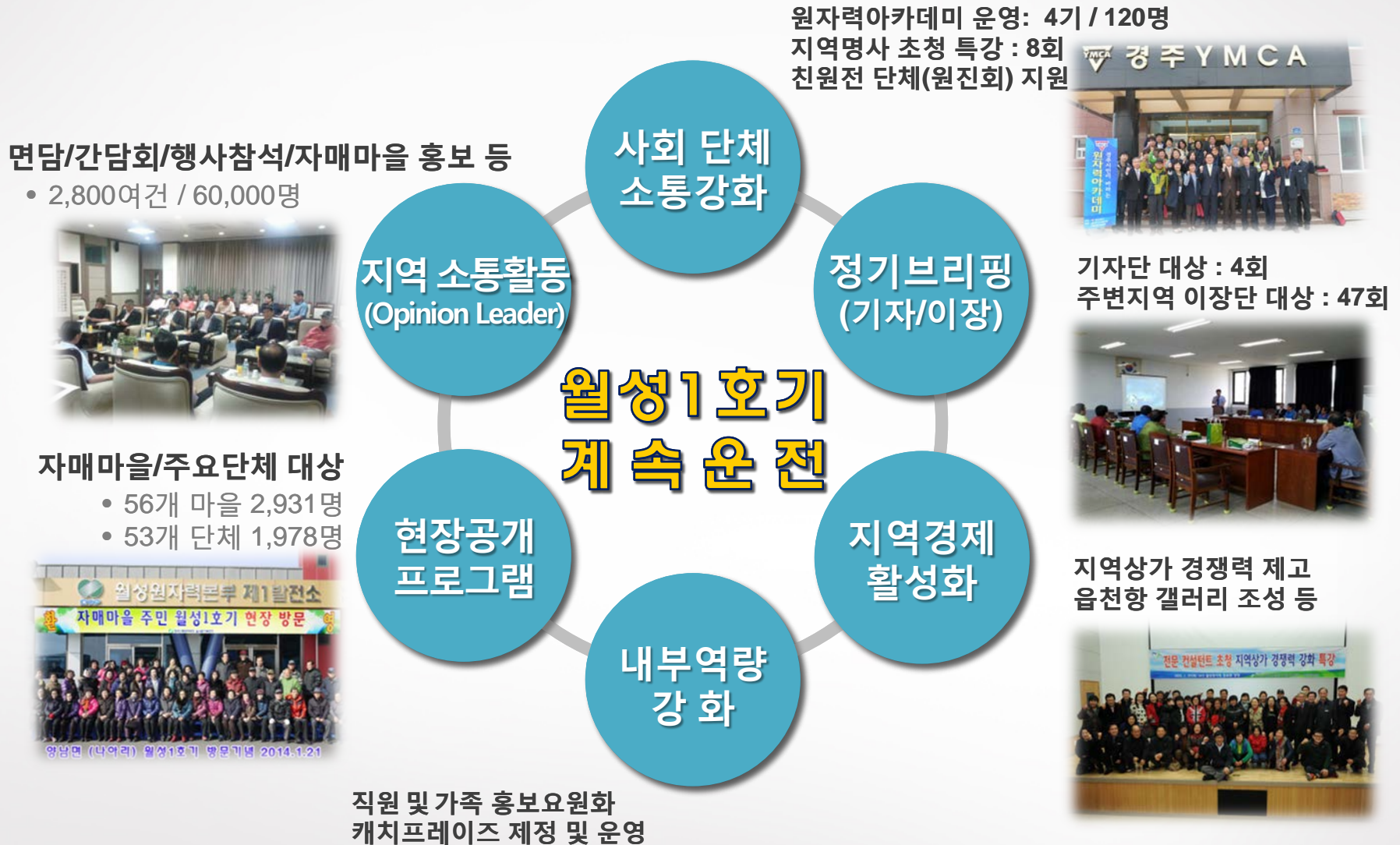


사회적 수용성

사회적 수용성 확보 전략

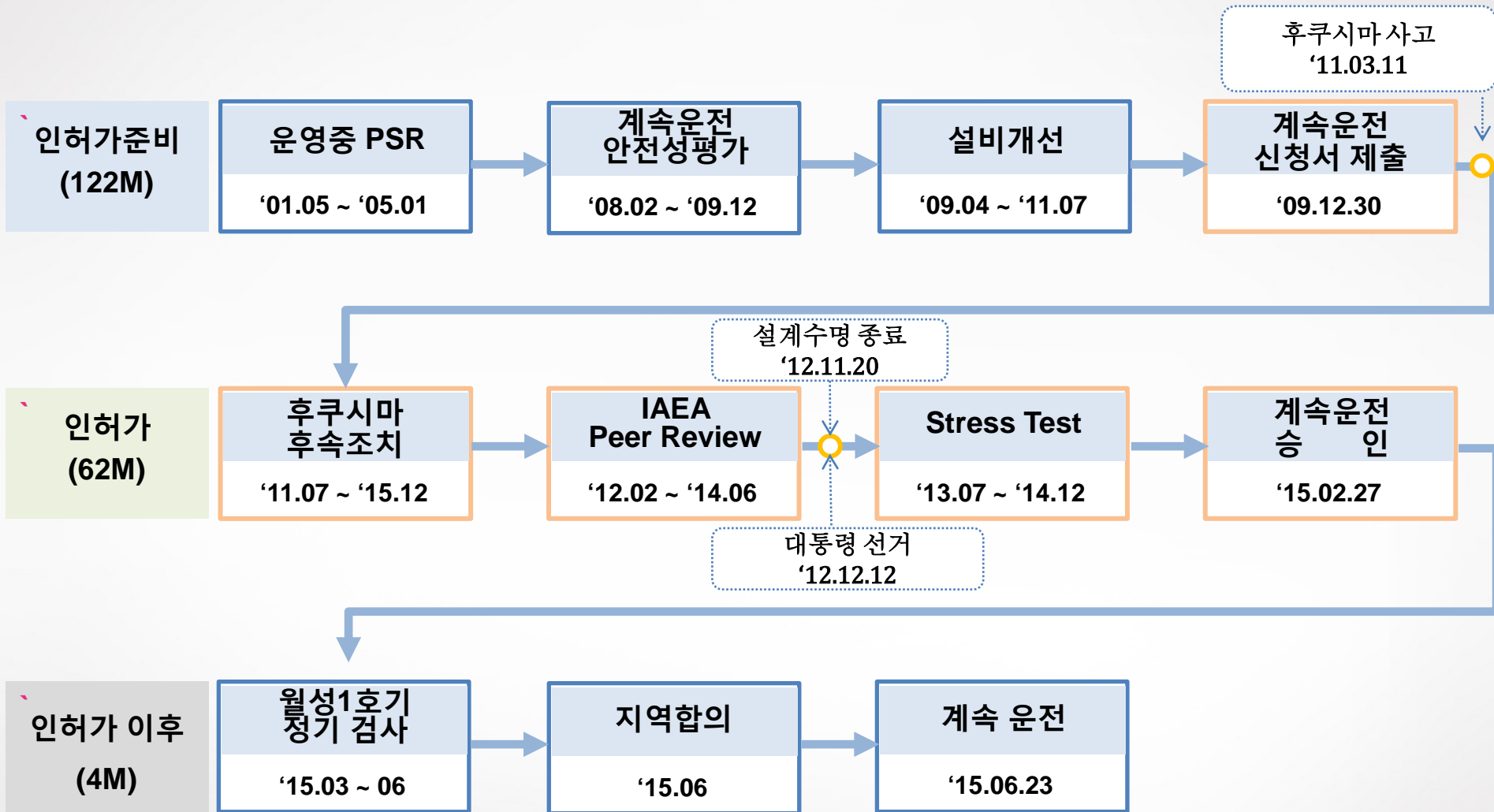


2. 지역사회와 소통



추진 과정 종합

1. 추진과정





개선방안

계속운전 전망

계속운전 개선사항

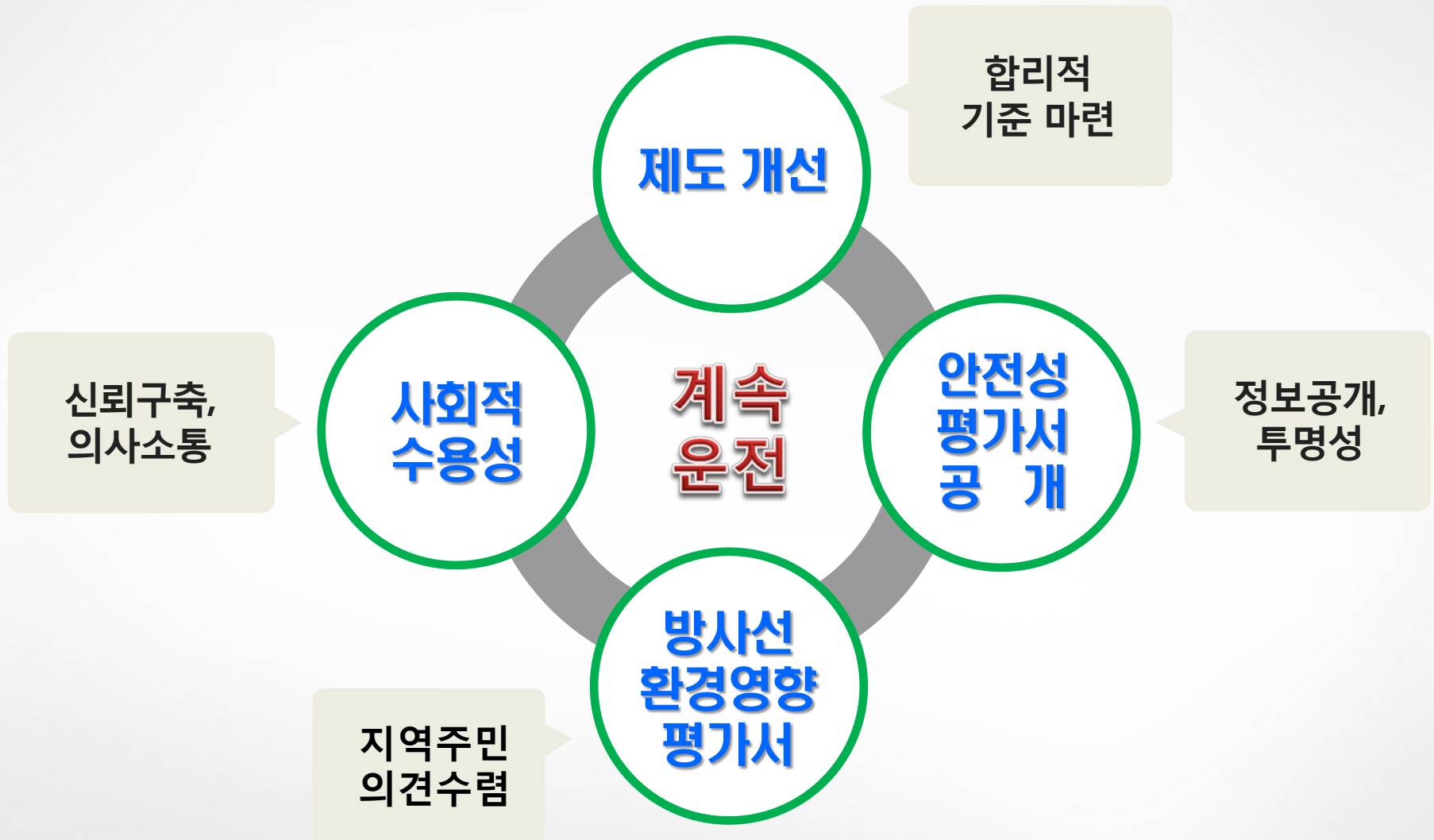


- 계속운전 발전소: 고리1호기(~2017), 월성1호기(~2022)
- 향후 10년내 11개 발전소의 계속운전 신청 도래

[향후 10년 내 계속운전 신청 계획]

Unit	Design Life	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
WS#1	'22.11.20																
KO#2	'23.08.09																
KO#3	'24.09.28																
KO#4	'25.08.06																
HB#1	'25.12.22																
HB#2	'26.09.11																
WS#2	'26.11.01																
HU#1	'27.12.22																
WS#3	'27.12.29																
HU#2	'28.12.28																
WS#4	'29.02.07																

2. 계속운전 개선사항



계속운전 허가기간 및 신청방법

현안

- ▶ 향후 10년간 11기의 원전에 대해 계속운전 신청 예정임
→ 사업자 및 규제기관의 제한된 인력으로 동시 다발적인 업무 수행 한계 초래
- ▶ 사회적으로 과도한 갈등이 10년 주기로 반복 발생 우려
→ 고리2호기 이후 매년 신청하면 상시 갈등 초래

현황

- ▶ 계속운전 허가기간이 10년이고, 호기별로 계속운전을 신청함
- ▶ 운영자가 계속운전 기간을 선택할 수 있는 유연성이 없음
- ▶ 계속운전 준비기간이 8년이 소요됨으로, 계속운전 후 바로 차기 계속운전을 준비해야 함

해외

- ▶ 미국은 동일 노형 또는 동시 건설 발전소에 대해 동시 인허가를 신청함
- ▶ 미국은 계속운전 허가기간이 20년이며, 추가적 20년에 대해 고려하고 있음



**동시 인허가 및 허가기간 변경등 으로 합리적이고 효율적인 계속운전 추진
환경 조성 및 사회적 갈등 최소화 필요**

3. 제도 개선 (II)

인허가 신청기한 및 서류



- ▶ 대규모 先 설비투자자에 대한 논란, 先 투자로 인허가를 압박한다는 의견이 제기됨
- ▶ 계속운전 미승인 시 先 설비투자자에 대한 책임소재, 사업자의 경영상 문제 발생



- ▶ 신청기한이 설계수명 만료 5내지 2년 전으로 한정
- ▶ 안전성평가보고서에는 現 발전소의 안전성 확보가 입증됨을 보이고 있음



- ▶ 미국은 설계수명 만료 20년 전부터 인허가 신청 가능
- ▶ 안전성평가보고서와 설비투자 계획 등을 포함한 안전성 증진계획을 제출하여 인허가 심사 및 승인



인허가 신청기한 조정 및 인허가 신청방법을 변경하여 선투자 문제 해소 필요

인허가 심사기간 및 방식



- ▶ 안전조치 추가 확보 기간 증가로 인한 인허가 심사기간이 길어짐
 - 심사기간이 설계수명 이후까지 늘어나서 장기간 원전정지 발생
 - 월성1호기는 7년 5개월만 계속운전 가능 ('15.6.23 ~ '22.11.20)



- ▶ 심사기간에 평가보고서 보완 및 안전성 확인을 위한 추가 기간은 산입되지 않음
- ▶ 심사기간 중 원전 수명기간이 만료되면 원전을 정지 해야 됨



- ▶ 미국은 심사가 종료되지 않더라도, 설계수명 이후 발전소 정지 없이 운전 하면서 심사함 [예: 인디안포인트-2]



인허가 심사방식 개선을 통해 장기간 원전 정지로 인한 국가 손실 최소화 필요

안전성 평가서 공개



- ▶ 계속운전 심사단계에서 환경단체 및 NGO 들의 인허가 문서 공개 요구
- ▶ 지적재산권 문제로 국회에서만 인허가문서를 열람방식으로 공개함



- ▶ 계속운전 승인 후, 발전소 및 본사에서 인허가 문서를 열람방식으로 공개



- ▶ 미국은 평가보고서가 포함된 계속운전신청서(1000쪽 분량) 공개 (NRC 홈페이지)
* 단, 보안사항, 지적재산권 및 영업비밀 등은 Blank 처리
- ▶ 캐나다는 계속운전 계획이 포함된 계속운전신청서(150쪽 분량) 공개(CNSC 홈페이지)



**인허가 신청시점부터 지정된 장소에서 열람방식 공개를 하고,
공개용 전자파일(요약본) 을 한수원 홈페이지에 공개하는 방식 검토**



감사합니다.

KHNP

<http://www.khnp.co.kr>



 **한국수력원자력주**

<http://blog.khnp.co.kr>

<http://twitter.com/ikhnp>

<http://www.facebook.com/ilovekhnp>