

고리1호기 계속운전 설비개선 현황

채 완 희 · 한국수력원자력(주) 고리원자력 제1발전소장

_e-mail : chaewh@khnp.co.kr

이 글에서는 우리나라 최초로 계속운전에 성공한 고리원자력발전소 1호기의 개요와 계속운전을 위한 설비개선 현황에 대해 소개한다.

고리1호기의 개요

고리1호기는?

우리나라 최초의 원자력발전소인 고리1호기는 설비용량 58만 7,000kW로 국내 원전 가운데 가

장 규모가 작으나, 1978년 상업운전을 개시하면서 우리나라를 세계 21번째 원전 도입국으로 발돋움 시켰다. 이후 1981년에는 발전량이 100억 kWh를 넘어섰고, 2004년 7월에는 1,000억 kWh

를 달성하는 등 지난 30년간 총 1,147억 kWh의 전기를 생산해 국가경제발전에 크게 기여하는 한편 에너지 자립의 초석을 다졌다. 상업운전 초기에는 원자력 기술자립 부족과 운영기술 미흡 등

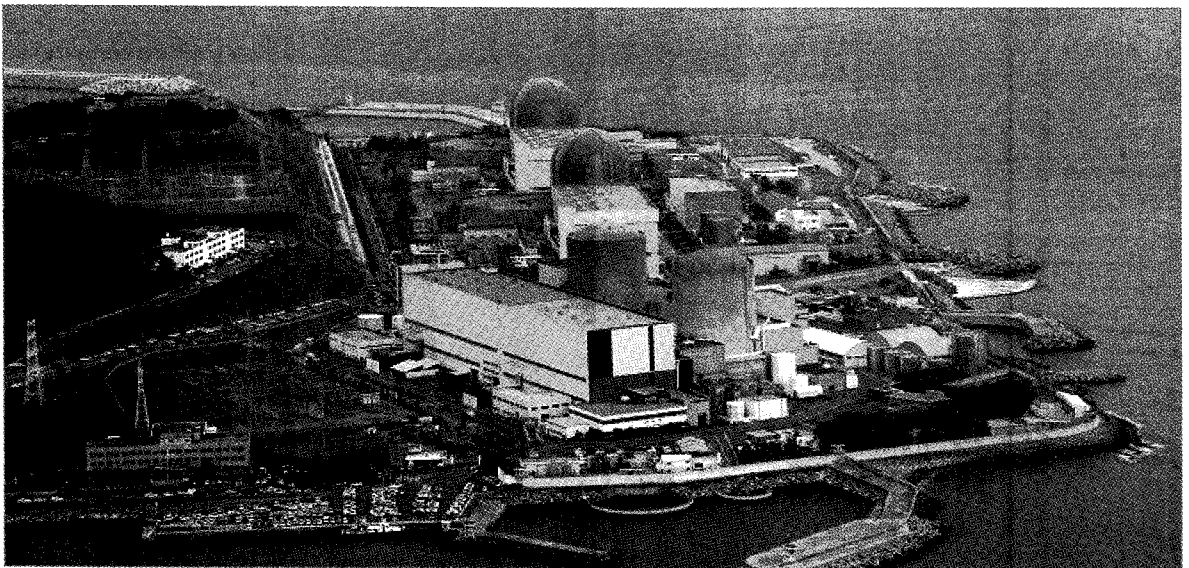


그림 1 고리원자력발전소 1·2·3·4호기 전경(맨 앞쪽이 고리1호기)

으로 고장정지가 많이 발생하였고, 이용률도 60%대에 머무는 등 만족할만한 운영실적을 나타내지 못하였으나, 풍부한 운전경험과 지속적인 설비개선을 통하여 최근 10년간 평균 고장정지건수는 0.3회로 현저히 감소되었고, 최근 5년간 평균 이용률은 90% 이상으로 향상되어 2006년 세계 평균 이용률 79.5%를 월등히 상회하였다.

또한, 지난 30년간의 운영기간 중 한주기 무고장 안전운전(OCTF)¹⁾도 7회를 달성하여 국내 원전 중 최다기록을 보유하고 있다.

특히, 고리 1호기는 원전기술이 전무했던 불모지에서 태어나 우리나라 원자력발전소의 모형으로서 그 역할을 다해왔으며, 2007년 6월 9일부터 계속운전을 위한 제25차 계획예방정비를 시행하여 2008년 1월 9일 역사적인 계속운전 재가동을 함으로써 제2의 중흥기를 맡고 있는 원자력산업계에 선도적인 역할을 수행하고 있다.

주요 이력

고리1호기는 1971년 11월 15일 본공사를 착공하여 1978년 4월 29일 상업운전을 시작하였다. 상업운전 후 20년차가 되는 1998년에는 대규모 계획예방정비를

실시하여 증기발생기 및 주요 계측설비 등을 교체하였으며 1996년 3월부터 1999년 9월까지 3주기 연속 무고장안전운전(OCTF)을 달성하였다. 2004년 7월에는 발전량 1,000억 kWh를 달성하였고, 2007년 6월 국내원전 최다인 일곱 번째 한주기 무고장안전운전을 달성하였다.

2006년 6월 계속운전 안전성평가서²⁾를 과학기술부에 제출하여 1년 6개월간 100여 명의 국내외 전문가로부터 서류심사, 실증시험, 현장점검 등의 엄격한 심사를 받아 2007년 12월 11일 과학기술부로부터 계속운전 승인을 받았다. 2007년 6월 계속운전을 위한 제25차 계획예방 정비공사를 착수하여 2008년 1월 9일 발전을 재개하였다.

제원 및 규격

- 원자로계통
 - 노형 및 공급사 : 가압경수로형(PWR), 웨스팅하우스(미국)
 - 원자로 열출력 : 1,723.5MWt
 - 설계압력 및 온도 : 175kg/cm², 343°C
 - 운전압력 및 온도 : 157kg/cm², 319°C(고온관)
 - 증기발생기 : 웨스팅하우스 Δ-60 (튜브 : 인코넬 690TT)
- 터빈/발전기 계통
 - 터빈 : GEC(영국)

- 발전기 : 히타치(일본)
- 주변압기 : 효성
- 발전기 정격출력 : 587mwe
- 연료 : 한전원자력연료(주), 저농축 우라늄 (U-235 3.8w/o)/121다발/43.62 MTU
- 종합설계 : Gilbert Associates, Inc. (미국)

고리1호기의 설비개선 현황

고리1호기는 상업운전 이후부터 발전소의 안전성 및 신뢰성을 향상시키기 위하여 체계적이고 지속적인 설비개선을 시행하였다.

2004년까지는 중장기 투자계획의 사업 우선순위에 따라 시행하였으며, 본격적으로 계속운전을 추진하기 시작한 2005년부터는 '고리1호기 계속운전 추진 기본계획'에 따라 시행하였다.

계속운전을 위한 설비개선은 원자력법의 규제요건을 충족시키기 위한 주기적 안전성평가(PSR) 후속조치사항과 사업자의 자발적 설비개선 사업으로 이원화하여 추진하였다.

중장기 가동 중 설비개선

계속운전을 추진하기 이전 중장기 가동 중 설비개선 주요 내용은 다음과 같다.

1988년 원자로 제어봉 안내관

1) 한주기 무고장 안전운전(OCTF)은 연료교체 후 다음 연료교체까지 고장 없이 연속운전을 하는 것으로서 원전의 관리, 운영능력 수준을 보여주는 지표이다.

2) 계속운전 안전성평가서는 주기적 안전성평가보고서, 주요기기 수명평가보고서, 방사선환경영향평가보고서 등으로 구성되어 있다.

지지핀, 급수가열기, 복수기 및 주변기기, 터빈 커플링 볼트 교체, 1992년 원전 운전지원 컴퓨터 설비 신설, 1994년 원격정지 제어반, 시료채취계통 신설, 1997년 저압터빈 회전자를 교체하였고, 상업운전 후 20년차인 1998년에는 3개월간의 계획예방 정비 기간 동안 증기발생기, 주급수 승압펌프, 공정제어 감시설비 교체, 원자로 냉각계통 과냉각도 지시계 신설 등 대규모 설비개선을 단행하였으며, 2002년 주변압기 교체, 2003년 터빈 조속기 설비 개선, 2004년 충전펌프 설비개선을 시행하였다.

계속운전을 위한 설비개선

고리1호기 계속운전 설비개선은 2004년 7월 설비개선팀을 발족하여 본격적으로 추진하였다. 설비개선팀은 계속운전 대상사업을 선정하고 사업별 업무분장과 세부 추진계획을 수립하여 계속운전의 체계를 확립하였다. 2005년 3월 기본계획으로 확정된 계속운전 대상사업은 160건으로 주기적안전성평가(PSR) 후속조치항목 87건과 자발적 설비개선항목 73건으로 구성되었다.

주기적안전성평가 후속조치항목은 원자력법 제23조의 3³⁾에 의거 2000년 5월부터 2002년 11월까지 한수원이 수행한 '고리1호기 주기적 안전성평가'에 대

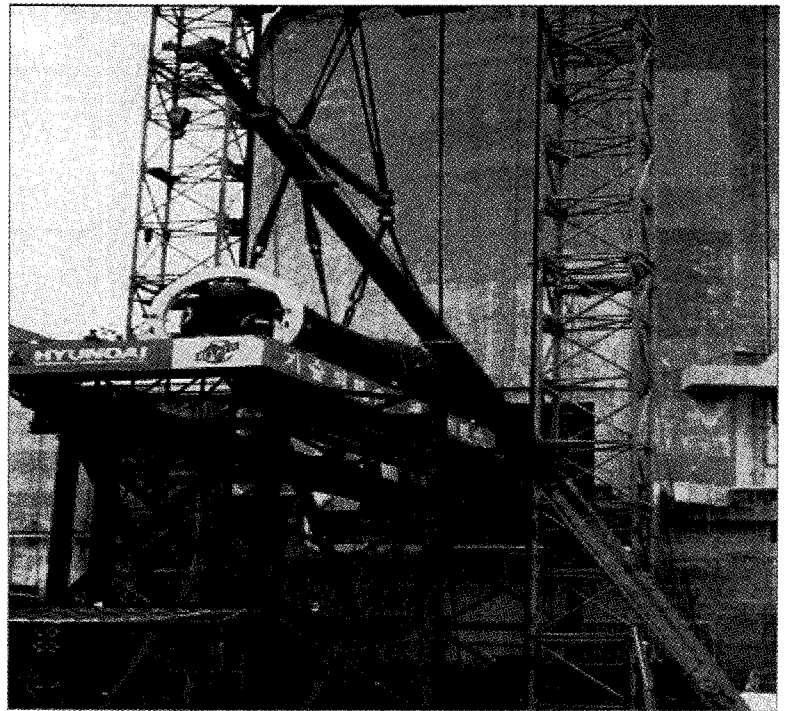


그림 2 증기발생기를 원자로 건물로 이동하는 모습('98년)

해 원자력안전위원회 심사 결과, 40개 항목의 안전성증진사항 이행을 권고하여 수행하였다. 이에 고리1호기는 사업을 효율적으로 추진하기 위하여 자체적으로 87개 사업으로 세분화하여 추진하였고 2007년 11월까지 모두 완료하였다.

73건의 자발적 설비개선항목은 설비 신뢰도를 향상시키기 위해 사업자 자체 계획에 의거 추진하였으며, 주증기 안전밸브 교체 등 53건은 계속운전 승인 이전에 완료하였으며, 보조급수계통 개선 등 20건은 2011년까지 완료 목

표로 현재 계획에 따라 추진하고 있다.

고리1호기 계속운전 사업은 단기간에 다수의 사업을 추진하다 보니 사업관리가 무엇보다 중요한 과제였다. 단위사업별로 세부 추진계획을 작성하여 주기적으로 개정·관리하였으며, 계속운전 마스터플랜을 수립하여 관련부서에 배부하였고, 주기적으로 공정회의를 개최하는 등 적기에 사업이 완료되도록 독려하였다.

공정회의는 본사 주관의 사업추진회의, 사업소 주관의 전체공정회의, 사업주관부서에서 필요에

3) 원자력법 제23조의 3(주기적안전성평가) 발전용 원자로운영자는 대통령령이 정하는 바에 따라 발전용 원자로 및 관계시설의 안전성을 주기적으로 평가하고, 그 결과를 과학기술부 장관에게 제출하여야 한다.



제1차 계속운전 사업추진회의 개최

따라 개최하는 소그룹회의 등으로 특화하여 탄력적으로 운영하였다.

특히, 계속운전 계획예방정비 기간에는 주 1회 중점관리항목 공정회의를 개최하여 사업추진 현황을 점검하고, 문제점을 사전에 도출하여 해결함으로써 계속운전을 성공적으로 추진하는 데 크게 기여하였다.

고리1호기 계속운전 주요 설비 개선 내용은 다음과 같다.

- 원자로 냉각재 펌프(RCP) 내장품 교체

고리1호기 원자로 냉각재 펌프는 구형의 모델로 정비 시 공사기간이 많이 소요되고 피폭량이 증가하여 2005년 교체하였다.

- 주발전기 및 여자기 교체
설계예상수명에 근접함에 따라

전기적, 기계적 경년열화가 진행되어, 설비 신뢰도를 향상시키기 위하여 2005년 교체하였다.

- 보조변압기 교체

전력용 변압기의 장시간 사용에 따른 내부 부식이 발생하였으며, 절연유 누설, 절연재 열화 등 설계 구조적인 취약점을 개선하기 위하여 2005년 교체하였다.

- 원자로 정지 및 우회차단기 교체

장기간 사용에 따른 차단기 노후화로 설비의 안전성 및 신뢰성을 향상시키기 위해 2006년 교체하였다.

- 전동-발전기 교체

장기간 사용에 따른 절연 열화 현상으로 기기의 피로감이 누적

되어 기기의 안전성 및 신뢰성을 향상시키기 위하여 2006년 교체하였다.

- 대체 교류발전기 신설

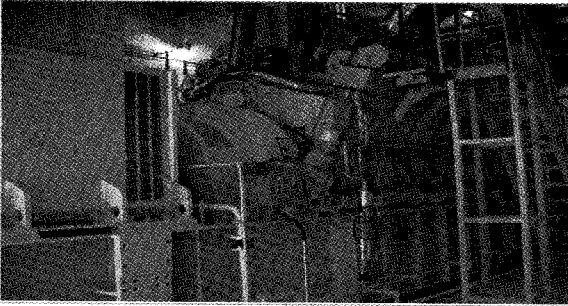
소내 정전 시 10분 이내에 안전모선에 전력을 공급하기 위해 고리1·2·3·4호기 공용으로 5,500kW의 교류발전기를 2006년 신설하였다.(그림 4)

- 안전성 고압차단기 교체

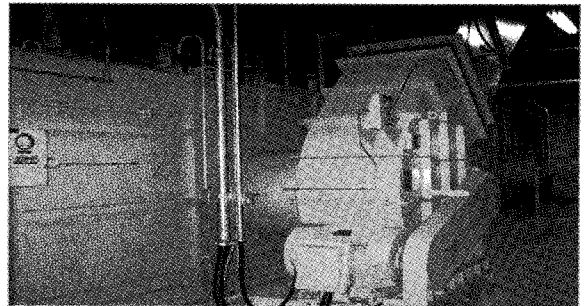
장기운전에 따른 기기 경년열화가 진행되고, 관련 부품이 단종되어 차단기 고장 시 교체부품 확보가 어려워 2006년 교체하였다.(그림 5)

- 화재방호 설비 개선

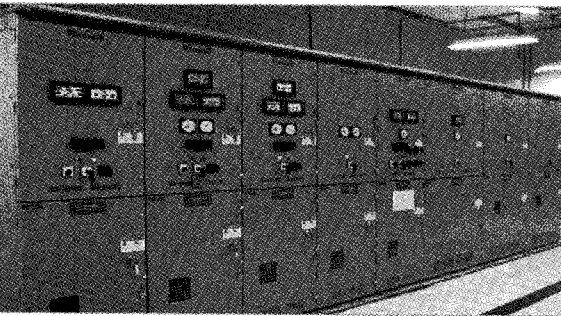
화재 안전정지 능력분석 용역 결과 안전성 관련 케이블과 케이



대체 교류발전기 신설 장면('06년)



공조계통 설비개선 장면('07년)



안전성 고압차단기 교체('06년)

블 트레이에 불연성 방화재 도포, 방화벽 관통부 개선, 차단기실 냉방장치 설치 등 28개 항목의 개선안이 도출되어 2003년부터 2007년까지 설비개선을 수행하였다.

- 내진검증 수행에 따른 설비 교체

기기 내진적합성 평가용역 결과 개선사항으로 제시된 연료재장전수탱크 등 121개 시설을 보강하고, 388개에 달하는 각종 계측기를 교체하였다.

체, 온도 및 방사선에 영향을 받는 각종 기기 및 케이블을 교체하였다.

- 소내 전산기 교체

주제어반의 운전지원전산기와 소내 전산기의 정보 및 감시 기능을 통합하여 정보의 가용성을 증대하고 화면설계를 최적화하기 위해 안전변수지시계통(SPDS ; Safety Parameter Display System) 기능이 통합된 소내 전산기로 교체하였다.

- 내 환경 검증 수행에 따른 설비 교체

내환경 검증 용역 결과 제시된 주증기 헤더실의 환경개선, 안전등급 전동기구동밸브 교

- 안전등급 계기용 공기공급계통 신설

소외 전원 상실 시 자연순환 냉각수행을 위한 안전등급 공기구동밸브에 구동용 공기를 안정적으로 공급하기 위해서 안전등급 계기용 공기공급계통을 신설하였다.

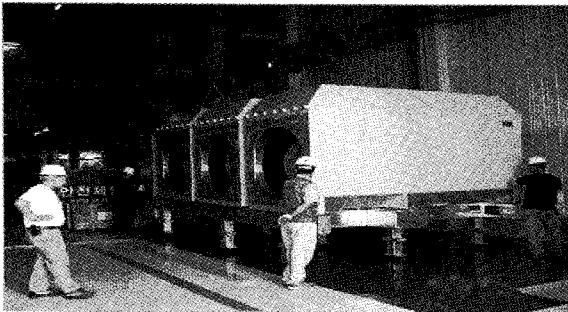
- 안전등급 축전지 교체

확률론적 안전성평가(PSA ; Probabilistic Safety Assessment)⁴⁾ 결과 안전등급 축전지의 용량 증대가 필요하며, 제작사에서 권고한 수명이 도래하여 최신 설비로 교체하였다.

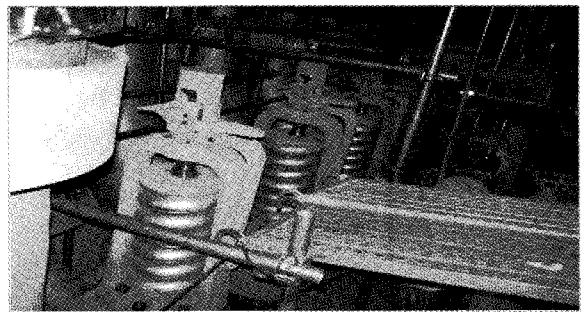
- 공조계통 설비 개선

공조계통의 송풍기, 공기정화기 등의 설비가 노후화되어 2007년에 격납건물 재순환 계통 등 6개 계통의 송풍기 16대, 공기정화기 8대 및 관련 설비를 교체하는 1단계 공사를 완료하였으며, 2단

4) 확률론적 안전성 평가(PSA ; Probabilistic Safety Accessment)는 기기의 신뢰도, 사고추이 분석, 계통 모델링 및 열수력학적 분석 기술을 활용하여 원자력 발전소에서 발생 가능한 모든 중대사고 시나리오에 대해 확률론적인 방법으로 노심손상빈도 및 격납건물 손상 확률을 정량화하고 또한 방사능 누출로 인한 주민건강, 재산피해 및 주변환경에 미치는 결과를 종합적으로 분석하고 원자력발전소의 안전성 향상을 위한 실질적 방안을 도출하는 평가방법이다.



발전기 부하차단기 설치 장면('07년)



주증기 안전밸브 설치 장면('07년)

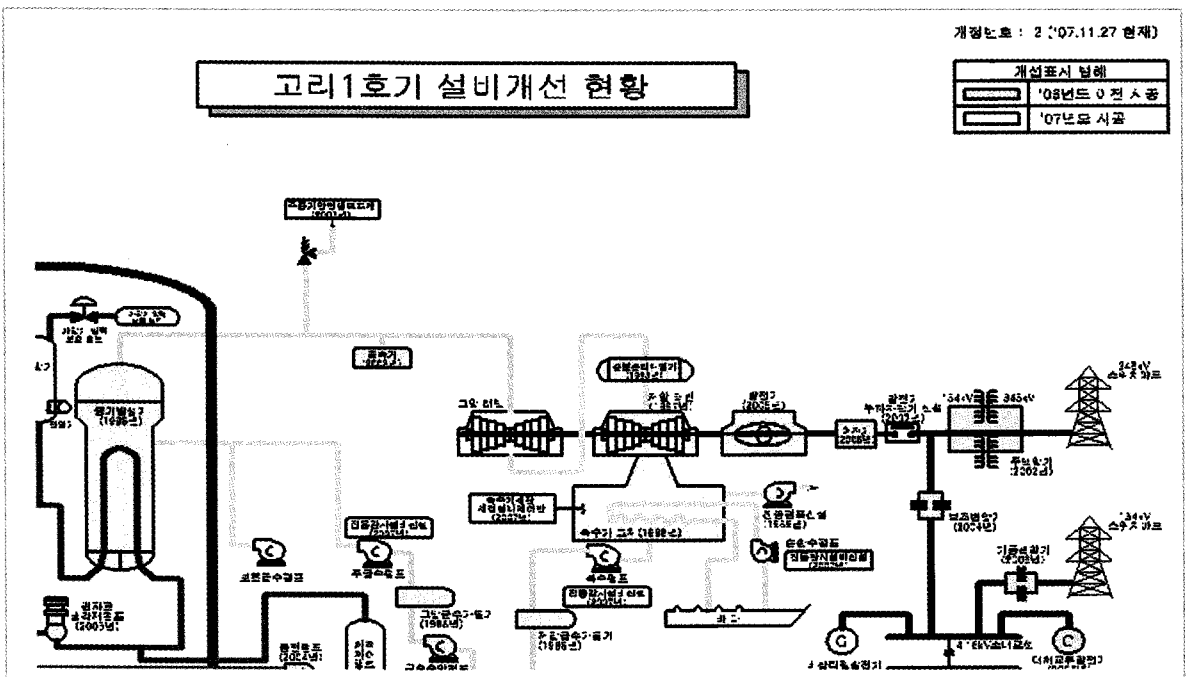


그림 9 고리1호기 설비개선 현황 도면

계 공사인 주제어실 관련 공조계통 설비교체 공사를 2011년까지 완료할 예정이다.(그림 6)

- 발전기 부하차단기 신설
발전소 소내 전원 건전성을 확보하고, 불필요한 원자로 정지를

방지하기 위해 발전기 출력단과 보조변압기 사이에 발전기 부하차단기를 신설 하였다.(그림 7)

- 주증기 안전밸브 교체
주증기 안전밸브가 장기간 사용으로 노후화되어 설비의 안전

성과 신뢰성을 향상시키기 위해 2007년 10대의 주증기 안전밸브를 교체하였다.(그림 8)