



## 한국형 신형 원전의 최초 발전소 신고리원자력 3호기

### ‘한 주기 무고장 안전 운전’ 달성의 의의와 향후 전망

김형섭

한국수력원자력(주) 서울원자력본부장



- 한양대 원자력공학과 졸업
- 한국전력 입사('85)
- 한국수력원자력 발전처 발전총괄 팀장
- 사업처 인허가팀장, 건설처 건설계획팀장
- 산월성건설소 기전실장
- 해외사업처 핀란드사업추진반 차장
- 위기관리실장, 기획처장
- 신고리 제3건설소장
- 서울원자력본부장('17~)

신고리 3호기가 지난 1월 12일 ‘한 주기 무고장 안전 운전(OC<sub>1</sub>TF, One Cycle Trouble Free)’을 달성했다. 신고리 3호기가 첫 주기 운전으로 지금까지 생산한 발전량은 2016년 기준 부산시 1년 사용량의 67%, 울산시의 43%에 해당하는 1만3730GWh로, 국가 전력 수급에 크게 기여하였다. 신고리 3호기는 약 3개월간의 계획예방정비를 통한 철저한 점검을 수행한 후 발전을 재개할 예정이다.

신고리 3호기는 2007년 9월 공사를 시작한 이래 상업 운전을 하기까지 약 10년 동안 멀고 먼 길을 걸어왔다.

신고리 3호기는 국내 최초로 건설되는 1400MW급 신형경수로 1400(APR1400) 원자력발전소로 대한민국 원자력계의 미래가 달려있다고 할 정도로 중요한 프로젝트였다.

제3세대 원전 시대의 포문을 열었던 만큼 건설 과정에서도 우여곡절이 많았다. APR1400 최초 원전 건설에 따른 초도 기자재 제작 및 성능 검증에 장시간이 소요되었을 뿐만 아니라, 기기 검증 기관의 안전 등급 케이블 시험성적서 위변조로 인해 안전 등급 케이블(674km)을 전량 교체하는 데 1년 가량이 소요되었다. 또한 제너럴 일렉트릭(GE)의 부품 열처리 미흡으로 인한 리콜로 인해 공정이 일부 연기되기도 하였다.

이로 인해 32개월이나 사업이 지연되었지만 이를 안전성 보장을 위한 발판으로 삼아 현장 산업 안전 강화와 설비 개선을 통한 후행 공정 대비에 만전을 기할 수 있었다.



신고리 3,4호기(오른쪽이 3호기), 신고리 3호기가 지난 1월 12일 한주기 무고장 안전운전을 달성했다. 신고리 3호기가 첫 주기 운전으로 지금까지 생산한 발전량은 2016년 기준 부산시 1년 사용량의 67%, 울산시의 43%에 해당하는 1만 3,730GWh로, 국가 전력 수급에 크게 기여하였다.

2016년 12월 준공 이후에는 전 세계 가압경수로형 '제3세대'원전 중 가장 먼저 상업 운전에 돌입하였다. 389일 동안 단 한 번의 정지 없이 안전 운전을 달성하면서 첫 3세대 원전 운전에 대한 주위의 우려와 불안을 해소시키고 한국의 우수한 원전 운전 역량을 다시 한 번 확인시켜주었다.

신고리 3호기의 한 주기 무고장 안전 운전 달성은 국가 전력 수급에 큰 기여를 하였고, 해외 원전 수출에도 긍정적인 영향을 주었다는 점에서 의의가 있다.

### 국내 최초 APR1400 원전인 신고리 3호기

APR1400은 1992년부터 2001년까지 G-7 과제의 일환으로 10년에 걸쳐 약 2,350억 원을 투입해 개발한 신형 경수로 원전으로 안전성, 경제성, 운전 및 정

비 편의성이 대폭 향상되었다.

신고리 3호기는 APR1400 노형으로 지어진 최초 원전으로 2008년 10월 16일 최초 콘크리트 타설을 기점으로 본격적인 건설에 착수하였고, 2012년 5월 1일 상온 수압 시험(CHT)에 착수하여 원자로계통 압력 경계 내 기기 및 부속품에 대한 건전성을 확인하였다.

이어 2012년 11월 20일 고온 기능 시험(HFT)에 착수하여 발전소 실제 운전 조건에서 계통들의 종합 운전 능력을 입증하였고, 전사적인 협력을 통해 최대 현안인 파일럿 구동 안전 방출 밸브(POSRV)와 주증기 대기 방출 밸브(MSADV)의 문제점을 해결하여 2013년 6월 5일에 시험을 성공적으로 완료하였다.

2015년 11월 3일 신고리 3호기는 핵연료 장전 후 핵연료를 장전한 상태에서 2016년 1월 9일부터 12월

〈표 1〉 신고리 3호기 사업 개요 및 추진 경위

■ 사업 개요

시설 용량	1,400MW	원자로 형식	신형가압경수로(APR1400)
사업 기간	'01.02.24~'16.12.20.(기본계획 확정~준공)		
건설 기간	'07.9~'16.12(부지 정지 착수~준공) * 본관 기초 굴착 : '08.4		
위치	울산광역시 울주군 서생면 신암리 일원		
종합 설계	한국전력기술(주)	주기기 공급	두산중공업(주)
원전 연료	한국원자력연료(주)	주설비 시공	두산중공업/현대/SK건설(주)

■ 추진 경위

주요 공정	3호기
건설 기본 계획 확정	2001.02.24
실시 계획 승인 취득	2007.09.13
부지 정지 공사 착수	2007.09.13
발전 사업 허가	2007.12.24
건설 허가 취득	2008.04.15
본관 기초 굴착	2008.04.15
최초 콘크리트 타설	2008.10.16
원자로 설치	2010.07.15
연료 장전	2015.11.03
계통 병입	2016.01.17
상업 운전	2016.12.20

14일까지 출력 상승 시험(PAT)을 수행하여 신고리 3호기의 열출력 변화에 따른 기기와 제어 계통의 성능을 확인하였고, 2016년 12월 1일에 최종적으로 터빈-발전기 계통 연결에 성공하고 같은 달 20일에 상업 운전을 실시하였다.

이후 389일 동안의 한 주기 무고장 안전 운전을 달성하고 법정 검사를 포함해 안전 설비 점검 및 연료 교체 등을 수행하기 위해 약 3개월간의 계획예방정비에 착수하였다.

새로운 노형의 첫 주기 무고장 안전 운전 달성은 매

우 의미 있는 것으로 서울대 이정동 교수가 저서「축적의 시간」에서 말한 것처럼 시운전 과정에서의 충분한 경험을 축적한 결과라고 볼 수 있다.

총사업비 6조 8,561억 원이 투입된 대규모 프로젝트인 신고리 3·4호기 건설 사업은 지역 경제 활성화에 큰 몫을 했다. 공사 과정에서 300개의 중소 협력 업체, 연인원 620만 명이 건설에 참여해 중소기업과의 동반 성장과 일자리 창출에 기여하였다.

상업 운전 이후에는 매년 104억 원의 지원금을 지역 주민에게 공급하며 지역 주민의 복지와 지역 개발, 경



신고리 3호기를 방문한 체코 상원의장단. 밀란 슈테흐(Milan Stech) 체코 상원의장을 포함한 40여명의 체코 방문단 일행이 신고리 3,4호기 발전소와 신고리 5,6호기 건설 현장을 둘러보며 한국형 신형원전의 안전성과 건설 역량을 확인했다.

제 활성화, 문화 진흥, 소득 증대 사업에 큰 공헌을 하였다. 또한 향후 60년의 운영 기간 동안 매년 3,000여 개의 일자리가 창출되고 1조 1,000억 원의 생산 유발 효과가 있을 것으로 기대된다.

### 획기적으로 안전성이 개선된 APR1400

신고리 3호기의 노형인 APR1400은 안전성이 기존 노형에 비해 획기적으로 개선되었다. 후쿠시마 원전 사고의 교훈을 반영하여 설계 기준 이상의 지진 발생 시 자동 원자로 정지 설비 설치, 전원 상실을 대비한 이동형 발전차를 배치하는 등 대형 자연 재해를 대비한 다중 안전 설비를 설치하였다.

내진 성능도 기존의 0.2g(규모 6.5)에서 0.3g(규모 7.0)로 대폭 강화하여 최대 예상 지진에도 철저히

대비했다. 특히, 원자로건물 등 주요 설비는 7.9~8.0의 지진이 발생하더라도 견딜 수 있게 설계되었다.

만일의 사고 발생 시에도 그 영향을 최소화할 수 있도록 중대사고 완화 방안을 설계 개념에 대폭 반영하였다.

원자로용기 직접 주입(Direct Vessel Injection), 비상 노심 냉각수 유량 조절 장치(Fluidic Device in SIT), 파이롯트 구동 안전 밸브(POSRV), 원자로건물 내 핵연료 재장전 수조(IRWST) 등이 적용되었다.

신고리 3호기의 주 제어실은 디지털 기술을 적용한 워크스테이션 형식으로 구성된 첨단 개념을 도입하여 신호 검증 및 기능 감시 등의 다양한 운전 지원 기능을 컴퓨터 기반의 워크스테이션에서 제공함으로써 운전원의 업무 부담을 감소시키고 인적 오류 가능성이 최소화되도록 설계되었다.

〈표 2〉 선행 호기 대비 신고리 3호기(APR1400) 설계 특성

구 분		개선형 한국표준형 원전(OPR1000)	신형경수로1400 (APR1400)	비고
안전성 강화	내진 설계	0.2g (규모 6.5)	0.3g (규모 7.0)	내진 설계 강화
	안전 주입 계통	저온관 주입 방식	원자로용기 직접 주입 방식 (Direct Vessel Injection)	저온과 파단 시에도 안전 주입 가능
	수소 완화 설비	PAR 6개(DBA) PAR 15개(SA)	PAR 12개(DBA) PAR 18개(SA)	중대사고 전용 설비 추가
	보조 건물	2분면 배치	4분면 배치	4계열 안전 계통 독립 배치
	재장전수 탱크	원자로건물 외부 (핵연료건물)	원자로건물 내부 (IRWST)	사고 시 냉각수원 지속 제공
	원자로 공동 충수 계통	없음	있음	중대사고 시 노심 용융물 침수 냉각
	비상 원자로건물 살수 보조 설비	없음	있음	격납건물 살수 계통 Back-up 설비
	노심 손상 빈도	6.77 <sup>-6</sup> / RY	2.45 <sup>-6</sup> / RY	노심 손상 확률 감소 (약 3배)
	격납건물 손상 빈도	10만년에 1회미만	100만년에 1회 미만	격납건물 손상 확률 감소 (약 10배)
경제성 제고	설계수명	40년	60년	
	용량	1,000MW	1,400MW	
신기술/설비 적용	계측제어 설비	아날로그+디지털	전 범위 디지털(MMIS)	운전 편의성 제고
	안전 주입 탱크 내 유량 조절 장치	없음	있음 (SIT Fluidic Device)	유량 주입 시간 연장 (안전성 향상)

발전소 기기 냉각용 해수는 수중 취·배수 방식을 채택하여 온배수 영향을 최소화함으로써 환경 친화적인 발전소를 구현하였다.

뿐만 아니라 신고리 3호기의 노형인 APR1400은 지난해 유럽사업자요건(EUR) 인증 심사를 통과하고, 세계 원전 규제 기관 중 가장 까다로운 미국 원자력규제 위원회(NRC)의 1차 안전성 평가 6단계 중 3단계를 통과하였다. 이로써 신고리 3호기는 세계에서 가장 안전한 원전이라는 것을 입증했다.

이와 같이 신고리 3호기는 최신의 기술과 기존 원전

의 운영 경험을 반영하여 안전성과 친환경성을 더욱 향상시킨 원전이라고 할 수 있다.

### 글로벌 선도 원전으로서의 신고리 3호기

신고리 3호기는 제3세대 가압경수로 노형 중 세계 최초로 상업 운전 및 한 주기 무고장 안전 운전을 달성함으로써 글로벌 원전 시장을 선도하고 있다. 작년 한 해 원전 시설을 필요로 하는 많은 국가들의 발길이 신고리 3호기로 이어졌다.





신고리 3호기 첫 주기 무고장 안전 운전 달성 행사. 신고리 3호기 첫 주기 무고장 안전 운전은 준공 최초 연도에 새로운 기기를 사용하면서 작동이 익숙하지 않은 등 여러 사정을 극복하고 이루어졌다는 점에서 매우 큰 의미를 갖고 있다.

지난해 3월 국제원자력기구(IAEA) 동유럽 7개국 주요 인사들이 다녀간 것을 시작으로, 4월에는 러시아의 최대 원자력 그룹인 로스아톰과 슬로바키아의 원자력 고위급 인사 등이 다녀갔다.

9월에는 영국 에너지부(BEIS) 국장이 방문하였으며, 10월에는 체코 원전 특사를 시작으로 원자력안전위원회 부위원장, 체코전력공사 일행, 상원의장이 신고리 3호기를 방문하여 한국형 신형원전의 우수성과 경제성을 확인하였다.

앞으로도 한국형 신형원전에 관심이 많은 여러 국가들의 발길이 이어질 것으로 기대되며, 신고리 3호기는 한국 원전 수출의 교두보로서의 역할을 수행해 나갈 것이다. 신고리 3호기의 첫 주기 무고장 안전 운전 달

성은 추가 원전 수출의 동력이 될 것으로 기대된다.

신고리 3호기는 앞으로 약 3개월간의 제1차 계획에 방정비를 거친 후 다시 운영을 시작할 예정이다. 특히 전력 피크 직전에 운영이 재개됨에 따라 여름철 전력 수급에 기여할 것으로 기대된다.

또한 계획예방정비 기간 동안 UAE 원전 운영사인 Nawah Energy 직원 100여명이 정비 작업 전(全) 과정을 벤치마킹해, 신고리 3호기의 정비 및 엔지니어링 분야의 우수성을 널리 알릴 예정이다.

한국수력원자력(주) 서울원자력본부는 2017년 1월 울산 울주군에 설립된 새로운 원전본부로, 소통과 안전 최우선 원칙을 바탕으로 신고리 3,4,5,6호기의 안전한 운영과 건설을 위해 최선을 다하고 있다. 🌞