

가동 원전 출력 증강

김 태 현

한국수력원자력(주) 정비기획처장



개요

가동 원전의 출력 증강(power uprate)은 가동중인 발전소에 대해 주요 설계 변경없이 잠재된 가용 설계 여유도 활용 또는 진보된 설계 방법론을 이용하여 안전성이 전제된 허용 범위 이내에서 인가 출력을 증가시키는 것이다.

미국에서는 이미 1970년대에 출력 증강 기술을 개발하여 규제 기관

(USNRC)에 의해 안전성이 입증되어 1980년대부터 활발하게 적용하고 있다.

한국수력원자력(주)는 산업자원부와 기술 개발 협약을 맺고 선진국에서 안전성이 입증된 출력 증강 기술의 개발 및 적용을 최종 목표로 하여 2002년 9월부터 2007년 6월까지 예비 평가 단계와 상세 평가, 그리고 인허가 단계로 구성된 기술 개발을 추진중에 있다.

최근 2005년 4월에는 2단계 업무인 상세 평가를 성공적으로 완료하였으며 향후 고리 3,4호기 및 영광 1,2호기를 대상으로 현재 인가 출력 대비 4.5%의 출력 증강에 대한 인허가 취득 및 일부 설비 개선을 추진하여 발전소에 적용할 예정이다.

이 글에서는 출력 증강 기술 개발 추진 경위와 기술 개발 내용, 그리고 향후 추진 일정에 대해 소개하고

자 한다.

국내의 출력 증강 추진 현황

1. 국 외

미국은 1977년 Calvert Cliffs 원전에 처음으로 5.5% 출력 증강 적용 후 1980년대부터 활발하게 가동 원전에 적용하고 있다.

USNRC에 의하여 안전성이 입증된 실용화 기술로서 가동 원전 총 104기 중 85기에 적용하고 있으며, 이중 20기는 증가된 출력 정도로 구분하는 3가지 종류를 중복 적용하였다. 이러한 출력 증강 적용으로 증가된 총전기 출력량은 4,417 MWe이다.

고리 3,4 및 영광 1,2호기와 동일한 유형의 원전인 North Anna 1,2호기, V. C. Summer에서는 각각 4.2%와 4.5%의 출력 증강을 적용하였다.

CE형 원전의 경우, Palo Verde 1,2,3호기는 각각 2%의 출력 증강을 적용하였는데, 특히 Palo Verde 2호기는 2003년 9월에 2.9%의 출력 증강을 추가로 적용하였다.

또한 San Onofre 2,3호기에서는 이차측 열출력 측정 불확실도의 감소를 통하여 1.4%의 미세 규모 출력 증강(MUR)을 적용하였다.

미국내 가동 원전에 대한 출력 증강 적용 현황은 2005년 6월 기준으로 <표 1>과 같다.

또한 USNRC는 2005년 6월 기준으로 6기의 대규모 출력 증강(EPU) 인허가 서류를 검토중에 있고, 2010년도까지 추가로 26기 원전이 출력 증강을 위한 인허가 신청서를 제출할 것으로 전망하고 있다.

이와 같이 출력 증강의 확대 적용을 활발히 추진하는 것은 출력 증강 이후에도 원전의 안전성과 운전성이 확보되고 있음을 입증하는 것이다.

유럽의 경우, 미국보다는 출력 증강을 적용한 원전이 상대적으로 적은 편이나, 벨기에·독일·스페인·스위스·핀란드·슬로베니아·프랑스 등에서 약 30기의 출력 증강을 적용하였다.

일본은 타당성 평가의 완료와 더불어 출력 증강 평가 기술을 확보하였고 향후 인허가 추진에 대비하고 있다.



"The 6th Project Review Meeting for Power Uprate" 2005. 3. 15 ~ 3. 18 KHNP NPEI

출력 증강 제6차 사업추진회의 후 기념 촬영

<표 1> 국외 출력 증강 추진 현황

미국 원전 적용 현황(2005년 6월 기준)

항목	PWR	BWR	계	추진중	
가동 원전	69	35	104		
Uprate 원전	55	30	85		
유형	MUR ^{주1)}	24	10	34	
	SPU ^{주2)}	37	21	58	
	EPU ^{주3)}	2	11	13	6
	계	63	42	105	6

주) 20기 원전은 적용 유형을 중복하여 적용

유럽 원전 적용 현황

벨기에, 스페인, 스위스, 독일, 프랑스, 핀란드, 헝가리 등 약 30기 적용

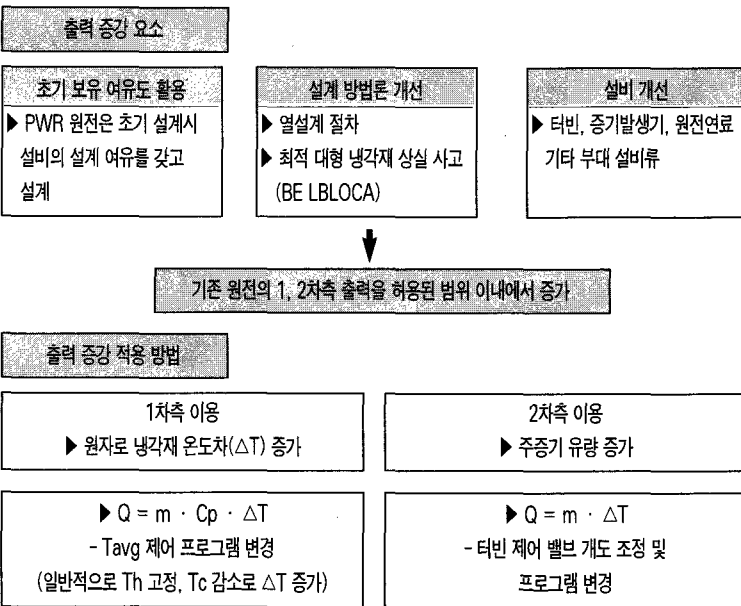
기타 국가 적용 현황

대만	8기 원전 MUR 적용 추진중(2008년 적용)
브라질	Angra 원전 SPU(+6.5%) 적용 추진중
스웨덴	Forsmark 1, 2, 3호기 410MWe 출력 증강 추진중

- 주1) 미세 출력 증강(MUR, Measurement Uncertainty Recapture) : 열출력 측정 방법 개선에 의한 불확실도 감소를 활용하는 출력 증가 방법
- 주2) 소규모 출력 증강(SPU, Strech Power Uprate) : 기존 설계 여유도 활용 또는 일부 개선된 설계 방법론을 적용하는 출력 증가 방법
- 주3) 대규모 출력 증강(EPU, Extended Power Uprate) : 최신 설계 방법론 활용 및 대규모의 설비를 개선하여 출력을 증가시키는 방법

〈표 2〉 출력 증강 기술 개발 추진 경위

사업명	가동 원전 출력 증강 기술 개발
총개발 기간	2002. 9.1~2007. 6. 30(58개월)
총사업비	452억원(설비 개선 비용 불포함) : 기금 지원율 50%
법적 근거	전기사업법 제47조, 시행령 제23조~26조
추진 경위	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2002. 02~03 : 가동 원전 출력 증강 기술 개발 기획 조사 시행 ○ 05. 30 : 2002년도 전력 산업 연구 개발 사업 신규 선정 광고 ○ 07. 10 : 출력 증강 사업 계획서 평가회 ○ 09. 26 : 가동 원전 출력 증강 기술 개발 I 단계 산업지원부 협약 체결 ○ 2003. 06. 30 : 해외사(WH사 등 4개사) 기술 지원 계약 체결 ○ 07. 28~30 : 사업 착수 회의 개최 ○ 2004. 01~19 : 1단계 수행 결과에 대한 평가위원회 평가 ○ 02. 06 : 출력 증강 II 단계 산업지원부 협약 체결 ○ 2002. 04. 30 : 출력 증강 상세 평가 완료



(그림 1) 출력 증강 기술 개발 방법

2. 국내

국내에서는 2002년 산업지원부 전력 산업 기술 개발 연구 과제로서 시작된 가동 원전 출력 증강 기술 개발 과제로서 1단계인 예비 평가(2002.9~2003.11)와 2단계인 상

세 평가(2003.12~2005.4)를 완료하고, 현재는 3단계인 인허가 단계(2005.5~2007.6)에 있다.

1995년 웨스팅하우스형 원전 출력 증강 과제 사전 조사 연구를 시작으로 1998년에도 3-Loop 원전

의 출력 증강 변수 비교 등을 통한 고리 3,4 및 영광 1,2호기 출력 증강 타당성을 검토하였고, 2002년에도 '중장기기술 개발과제 기획소위원회' 의뢰로 가동 원전 출력 증강 기획 연구를 수행한 바 있다.

출력 증강 기술 개발 추진 현황

1. 경위

전력 산업 연구 개발 과제로서 한 국수력원자력(주)가 주관 기관으로 참여하여 2002년 9월에 산업지원부와 협약을 체결하였으며, 2003년 6월에는 해외사와 기술 지원 협약을 체결하였다.

국내 최초로 개발하는 과제로서 기술 자립에 유리한 조건을 확보하기 위하여 해외사와 협상 지연으로 예정보다 6개월 늦게 협약이 체결되어 기술 개발 기간도 초기 계획보다 6개월 연장하였다.

처음에는 많은 시행 착오를 겪었지만 계획대로 2003년 11월에 예비 평가를 완료하였고, 2005년 4월에는 상세 평가를 완료하고 2005년 8월 현재 인허가 신청 및 현장 적용을 위한 후속 작업을 추진하고 있다.

2. 출력 증가 방법

원자력발전소의 출력을 증가시킬 수 있는 요소로는 〈그림 1〉와 같이 초기 보유 설계 여유도를 활용하고

열설계 절차와 최신의 해석 방법론을 활용하는 것이며 증가된 증기량을 수용할 수 있도록 2차측 주요 설비를 개선하는 것이다.

기술 개발 추진 체계

1. 기술 개발 추진 조직

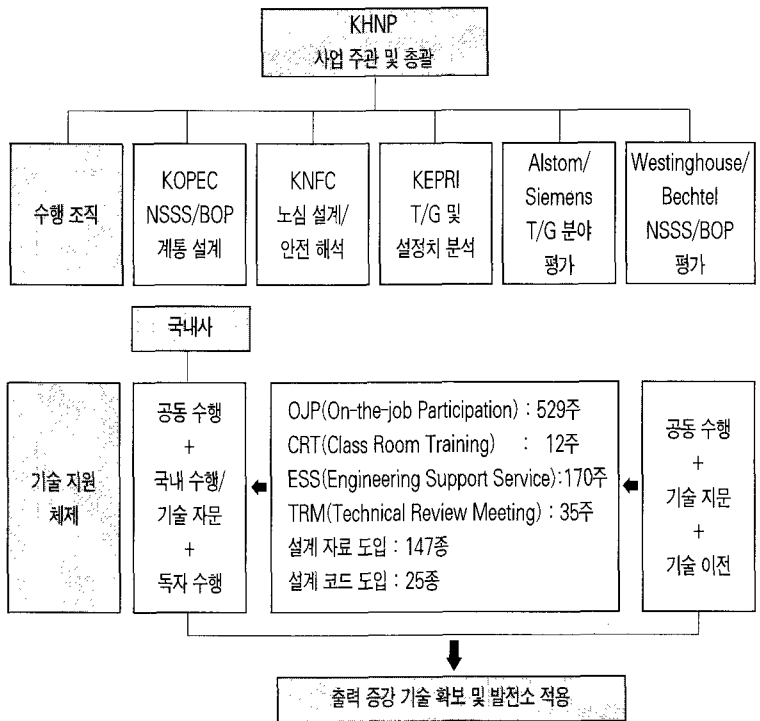
기술 개발 추진 조직은 <그림 2>과 같이 한국수력원자력(주)가 주관 기관으로서 기술 개발을 총괄하고 있으며, 분야별로는 국내외의 여러 회사가 참여하였다.

NSSS/BOP 계통 설계 분야는 한국전력기술(주)와 웨스팅하우스사가, 노심 설계 및 안전 해석 분야는 한전원자력연료(주)가, 제어/보호 계통 및 터빈 발전기 분야는 한전 전력연구원이 담당하였으며, 해외사로는 벡텔사가 BOP분야에, 알스톰사와 지멘스사는 터빈 분야에 참여하고 있다.

2. 기술 개발 추진 전략

출력 증강에 대한 경험이 풍부한 선진 회사로부터의 입증된 기술을 바탕으로 국내 출력 증강 자체 기술 능력을 확보하기 위하여 자체 기술 개발과 해외사의 설계 자료, 설계 코드 등의 기술 도입을 병행하여 추진하였다.

국내사가 기반 기술을 보유하고 있는 분야는 자체적으로 추진하였고, 국내에 기반 기술이 빈약한 분



(그림 2) 출력 증강 기술 개발 추진 체계

야는 해외사가 주도적으로 기술 개발을 하고 국내사는 공동 기술 개발(OJP) 형태로 참여하는 한편 강의식 교육(CRT), 기술 지원(ESS) 및 현안협의회의(TRM)를 통하여 부족 기술을 확보하도록 하였다.

특히 기술 개발 과정중에 도출되는 현안 사항은 분기별로 사업추진 회의(PRM)을 개최하여 모든 기관이 참여하여 문제를 해결하였다.

3. 기술 개발 추진 절차

출력 증강 기술 개발은 <그림 3>와 같이 총3단계로 구분하여 추진하고 있으며, 각 단계별 기간 및 주

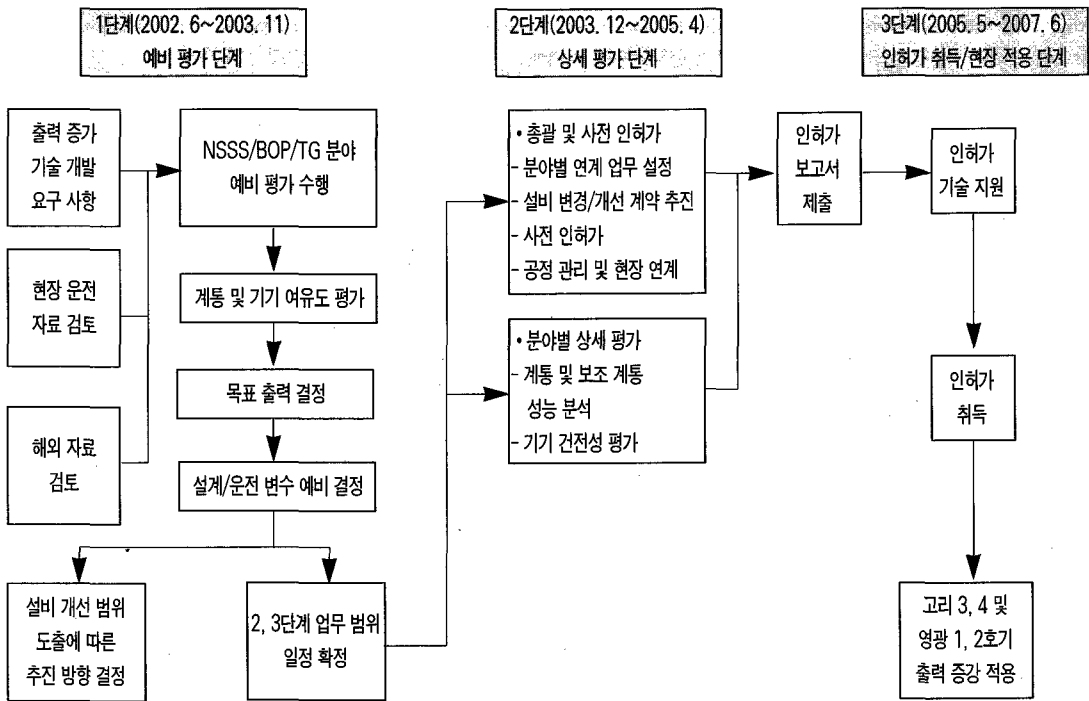
요 기술 개발 내용은 다음과 같다.

가. 1단계 : 예비 평가

설계 및 운전 자료 검토를 통하여 가용 여유도를 평가하였고, 출력 증강에 제한적인 요인으로 작용하는 계통과 기기의 성능, 안전성 및 건전성을 예비 평가하였다.

나. 2단계 : 상세 평가

출력 증강 조건에서 안전 해석, 설정치 분석, 노심, NSSS 계통 및 보조 계통 성능 분석, NSSS 기기 건전성 평가, BOP 성능 분석, T/G 성능 분석 등에 대한 상세 평가를 수행하여 성능, 안전성 및 건전성을 입증하고 및 설비 개선 범위를 도출



(그림 3) 출력 증강 기술 개발 추진 절차

하였다.

다. 3단계 : 인허가 취득 및 현장 적용

규제 기관의 인허가를 취득할 예정이며 출력 증강에 필요한 설비 개선과 교육 훈련을 추진하여 발전소에 적용할 예정이다.

출력 증강 기술 개발 세부 내용 및 결과

출력 증강 기술 개발 과제에서는 고리 3,4호기 및 영광 1,2호기의 인허가 열출력을 현재의 2,775MWt에서 2,900MWt로 4.5% 증가시키는 것을 수용할 수 있는지에 대한 상세 평가와 해석을 수행하였다. 수행한 주요 기술 개발 내용을 요약하면 다음과 같다.

○성능 변수(PCWG, Perfor-

mance Capacity Working Group) 생산

○출력 증강 관련 계통 및 기기 성능, 안전성 및 건전성 상세 분석 수행

- NSSS 계통, BOP 및 터빈 발전기 분야

○노심 설계 및 안전 해석 수행

○설비 변경 및 개선 방안 수립

○인허가 보고서 작성

○FSAR 개정안(Mark-up)작성

1. 성능 변수(PCWG) 생산

출력 증강 성능 변수인 PCWG(Performance Capability Working Group) 변수는 출력 증강 분석에 사용하는 가장 기본적인 변수들로, 원자로 냉각재 계통과 이차 계통의 조건, 즉 온도·압력·유량

등을 포함하고 있으며, 이 값들은 설계과도, 계통 및 기기, 사고 해석, 핵연료 설계 및 평가의 기본값으로 사용된다.

고리 3,4 및 영광 1,2호기에 대해서는 다음의 주요 입력 변수 및 가정 조건으로 PCWG 변수를 생산하여 NSSS/BOP/TG 계통 성능 및 건전성 평가, 노심 설계 및 안전 해석의 기본 자료로 활용하였다.

○출력 증강 후 노심 열출력은 기존 2,775 MWt에서 4.5% 증가된 2,900 MWt

○열설계유량은 기존 95,600 gpm에서 약 1.5% 감소된 94,200 gpm

○전출력시 Tavg는 580°F부터 587°F 까지의 범위에서 운전 가능

○증기발생기 관막음률은 각 Tavg 조건에서 0%, 5% 및 7%를 적용

2. NSSS 계통 평가

핵증기 공급 계통 및 보조 계통 성능 평가 업무에는 원자로 냉각재 계통 성능 평가, NSSS/BOP 연계 요건 평가, 핵증기 공급 계통 주기기 및 보조 기기의 성능 평가를 포함하였다.

원자로 냉각재 계통의 성능 평가에서는 원자로 냉각재 유량의 감소에 따른 살수 유량의 적절성 여부와 가압기 방출 탱크가 출력 증강 조건에서 예상되는 최대 증기 방출을 수용하는지를 평가하였다.

출력 증강시 고·저온관 온도차는 증가시키되 원자로 냉각재의 평균 온도는 낮추기로 함에 따라, 가압기 정상 수위가 낮아지므로 가압기 압력 방출 탱크로 유입되는 증기의 체적이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 새로운 가압기 압력 방출 탱크 수위 설정치를 설정하였다.

NSSS/BOP 계통 연계 요건 평가에서는 출력 증강에 따라 영향을 받을 수 있는 주증기 계통, 증기 방출 계통, 복수 및 급수 계통, 보조 급수 계통, 취출수 계통 등에 대한 연계 요건을 검토하였다.

평가 결과, 기존의 주증기 안전 밸브의 설정 압력은 출력 증강시에도 동일하게 유지되고, 주증기 안전

밸브의 용량은 증가된 증기 유량을 수용할 수 있음이 안전 해석을 통하여 확인되었다.

기존의 증기발생기 압력 방출 밸브의 최소 및 최대 용량 요건은 출력 증강시에도 동일하게 유지된다.

주증기 차단 밸브 및 주증기 차단 밸브 우회 밸브에 대한 요건은 출력 증강으로 인한 영향이 없다.

단 증기 덤프 계통의 용량은 출력 증강 조건에서 증기 유량이 증가하므로 고리 3,4호기 및 영광 1,2호기의 100% 부하 상실 수용 기능을 50% 부하 상실로 기준을 변경하였다.

핵증기 공급 계통 주기기 성능 분석에서는 원자로, 가압기, 원자로 냉각재 펌프 및 증기발생기 성능 요건에 대해 검토하였다.

평가 결과, 핵증기 공급 계통 주기기의 성능은 출력 증강 조건에서도 허용 가능한 것으로 확인되었다. 원자로 냉각재 펌프 전동기의 경우, 출력 증강에 따른 가장 가혹한 고온 냉각재 운전 조건인 7,289 HP의 부하 조건과 가장 가혹한 저온 냉각재 운전 조건인 9,431 HP의 부하 조건에 대해 평가되었고, 모두 허용 기준을 만족하였다.

핵증기 공급 계통 보조 계통 성능 분석은 화학 및 체적 제어 계통, 잔열 제거 계통 및 비상 노심 냉각 계통의 성능 분석 업무를 포함하였다.

평가 결과, 화학 및 체적 제어 계

통은 열교환기 및 탱크의 설계 변수와 운전 변수 모두 출력 증강 조건을 수용하고, 잔열 제거 계통은 냉각 시간에 대한 허용 범위를 만족시키는 것으로 나타났다.

안전 주입 유량은 안전 주입 계통이나 기기의 용량 변경없이 증가된 출력의 안전 해석 허용 기준을 만족시킬 수 있음을 확인하였다.

또한 봉소열 재생 계통 및 봉소 회수 계통의 성능은 출력 증강으로 인한 영향은 없는 것으로 나타났다.

핵증기 공급 계통 기기 건전성 평가는 원자로 용기 및 원자로 내부 구조물, 제어봉 구동 장치, 원자로 냉각재 배관 및 기기 지지대, 원자로 냉각재 펌프, 증기발생기, 가압기 및 NSSS 보조 기기에 대한 구조 건전성 평가를 포함하였다. 평가 결과, 기기들의 구조적 건전성에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.

출력 증강에 따른 NSSS 제어 계통 성능 평가를 위하여 설계 과도 상태 분석을 수행하였다.

분석 결과, 원자로 정지 및 공학 적 안전 설비 작동 설정치까지 충분한 운전 여유가 있으며 안정된 제어 특성을 보였다.

또한 출력 증강에 따른 원자로 보호 계통 설정치 영향 평가를 수행하였는데, OPAT/OTAT 기술 지침서 설정치는 안전 해석치가 변경됨에 따라 새로 설정되었으며, 그 외 보호 계통 설정치는 현재 설정치가

유효한 것으로 평가되었다.

보호 계통 허용치의 경우는 계기 운전 가능성 판단을 보다 엄밀히 하기 위하여 기존 값보다 약간 줄여서 제시하였다.

3. 노심 설계 및 열수력 평가

핵설계에서는 출력 증강 조건에서 안전 해석에 필요한 자료를 생산하고 기술 지침서의 핵설계 관련 인자들의 유효성을 확인하였다.

출력 증강 조건을 반영한 노심 해석 모델을 구성하고 연료의 건전성 및 안전 해석에 사용되는 핵설계 자료를 생산하고 평가하였다.

출력 분포, 반응도 계수 및 동특성 인자 등 대부분의 핵설계 인자는 주기별로 나타나는 편차 범위 내에서 변화하여 기존의 안전 해석에 사용된 값이 여전히 유효한 것으로 평가되었다. 다만, 3개 항목의 안전 해석 입력 값은 변경되어야 할 것으로 평가되었다.

연료봉의 열적/기계적 성능이 출력 증강 조건에서 관련 설계 기준을 만족하는지에 대한 평가와 안전 해석을 위한 연료봉 온도 자료의 생산은 기존의 방법론 및 절차에 따라 수행하였다.

연료봉의 열적/기계적 건전성 평가 관련 설계 기준 중 출력 증강에 의해 영향을 받는 것은 연료봉 내압, 피복관 부식, 피복관 응력, 피복관 변형률, 피복관 피로 그리고

핵연료 중심선 온도 기준이다.

또한 안전 해석을 위한 연료봉 온도 자료 역시 출력 증강에 의해 영향을 받게 된다.

따라서 안전 해석을 위한 기본 입력 자료로 사용되는 연료봉 최대/최소 평균 온도 및 표면 온도, 연료봉 내압 그리고 연료봉 성능 인자들이 생산되었다.

핵연료 집합체 설계의 경우, 출력 증강에 따라 변하는 노심 설계 변수를 도출하고 이들 노심 설계 변수가 핵연료 집합체의 기계 설계 기준에 미치는 영향을 평가한 결과, 기계적 건전성이 유지되는 것으로 평가되었다.

열수력 설계는 출력 증강 노심의 DNB 및 수력적 성능 분석을 통하여 노심의 열수력적 안전성을 입증하는 것이다.

이를 위하여 WRB-2 임계열속 상관식 및 최신 열설계 방법론(RTDP, Revised Thermal Design Procedure)을 적용하였다.

출력 증강 노심의 열수력 설계 변수들을 반영하여 열적 및 수력적 성능 분석을 수행한 결과 설계 기준을 모두 만족하였다.

4. 안전 해석 및 방사선 결말 분석

대형 LOCA 해석은 최적 평가 코드인 KREM을 적용하여 수행되었다. 이 방법론은 규제 기준에 적합

하게 개발된 것으로 웨스팅하우스 3-루프 원전의 대형 LOCA 해석에 사용할 수 있도록 승인되었다.

해석 결과, 최고 PCT는 956.7°F로 허용 기준(2200°F 미만)을 만족하였다. 소형 LOCA의 가장 제한적인 3인치 파단 사고의 PCT는 1,910.4°F로 허용 기준을 만족하였다.

재임계 여부를 확인하기 위한 LOCA 후 장기 노심 냉각 평가에서는 격납 건물 집수조 혼합 붓송 농도 및 안전 주입 전환 시간을 분석하였고 이를 토대로 원자로 용기 수위가 유지되고 붓송 석출이 되지 않음을 확인하였다.

Non-LOCA 해석은 최종 안전성 분석 보고서 포함되어 있는 사고 조건에 대하여 수행되었으며, 해석 결과, 각 사고 해석에 고려되는 허용 기준을 모두 만족하였다.

LOCA 및 주증기 배관 파단 사고 시 질량 및 에너지 방출량을 분석하였으며, 격납 건물 건전성 평가에 적용하였다.

설계 기준 사고에 대한 방사능 영향 평가는 USNRC가 개발한 전산 코드인 RADTRAD 코드를 사용하여 출력 증강에 영향을 받는 사고를 선별하고 이에 대한 분석을 수행하였다.

평가 결과, LOCA를 포함한 설계 기준 사고에 대한 방사능 영향 평가는 허용 기준을 모두 만족하였다.

5. BOP 및 TG 평가

고리 3,4호기 및 영광 1,2호기의 인허가 열출력을 현재의 2,775 MWt에서 2,900MWt로 4.5% 증가시키는 것을 수용할 수 있는지에 대한 상세 평가와 해석을 수행하였다.

평가 결과, 출력 증강 조건에서도 BOP 분야의 계통 성능, 구조물 건전성 및 안전성이 확보되는 것으로 나타났다.

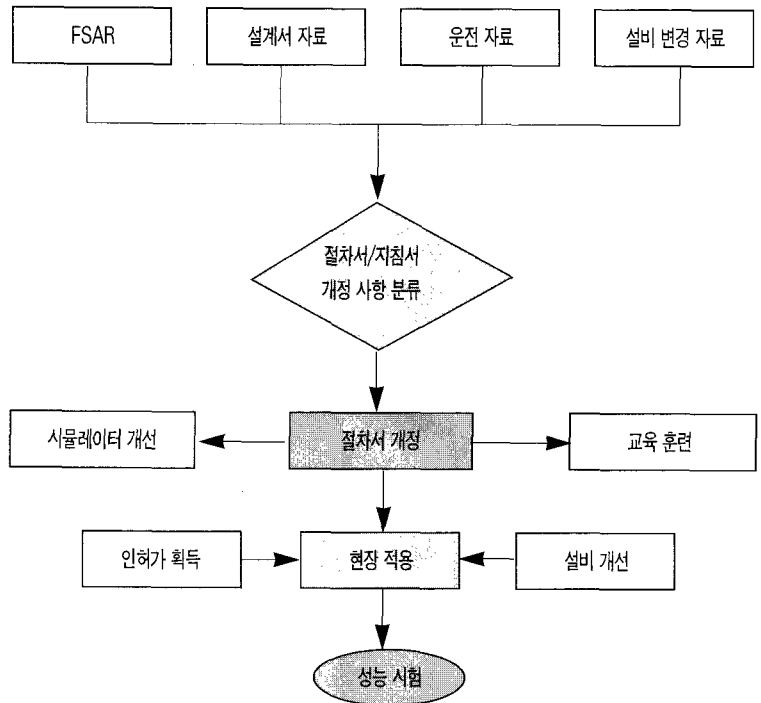
다만 NSSS 보조 계통 및 기기의 설비 변경은 요구되지 않으나, 이차 계통 일부 기기는 적절한 여유도를 유지하기 위하여 설계 변경이 요구되었다.

1차 기기 냉각수 열교환기 교체, 주급수 펌프 운전 조건 변경, 증기 발생기 취출수 제어 밸브의 밸브 행정 거리 증가 등이 설계 변경 대상으로 나타났다.

마지막으로 터빈 발전기 분야에서는 출력 증가 조건에서 열평형도를 생산하고 이에 따른 주터빈-발전기의 수용 능력을 평가하였다.

고리 3,4호기 터빈-발전기의 현재 교축증기 체적 유량 여유는 2.22%이나, 출력 증강 조건에서 체적 유량이 10.18% 증가하였다.

따라서 출력 증강 증기 조건을 수용하기 위한 고압 터빈 1~4단 다이어램 교체를 최적 방안으로 검토하였으며, 이 경우 전기 출력은 3.41% 증가한 1,20033.2 MWe가



(그림 4) 출력 증강 발전소 적용 흐름도

예상되며 출력 증강 증기 조건에서도 기계적 건전성이 확보될 수 있음을 확인하였다.

영광1,2호기 터빈-발전기의 현재 교축증기 체적 유량 여유는 10.23%이나, 출력 증강 조건에서 체적 유량이 11.47%로 증가하였다. 따라서 출력 증강 증기 조건을 수용할 수 있도록 고압 터빈 케이싱을 제외한 내부 구성품을 교체하는 것이 최적 방안으로 검토되었다.

출력 증강 조건에 맞도록 고압 터빈을 최적 설계하여 교체할 경우 전기 출력은 4.98%가 증가한 1,046.2 MWe로 예상되며, 교체하지 않는 터빈 구성품은 기계적 건전성이 충분히 확보될 수 있음을 확인하였다.

발전기는 설계 조건을 기준으로 출력 증강 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

6. 인허가 대비

인허가 취득 및 현장 설비 개선을 위하여, 출력 증강 설계 조건을 반영하여 고리 3,4호기 및 영광 1,2호기 최종 안전성 분석 보고서 개정안을 작성하였으며, 출력 증강 평가 결과 설비 변경 및 개선이 필요한 부분에 대해 현장 적용을 위한 설비 개선 방안도 수립하였다.

이와 아울러 발전소 안전성 영향에 대한 평가 보고서를 작성하여 출력 증강 조건에서도 발전소가 안전하게 운전될 수 있음을 확인하였다.

7. 결과

출력 증가 조건에서 해석 및 평가 결과, NSSS 및 BOP 계통은 허용 인허가 기준과 요건을 계속 준수하면서 운전이 가능하다는 것을 보여주었다.

출력 증강 적용에 따른 핵증기 공

〈표 3〉 출력 증강 교육 훈련 및 현장 적용 단계

구분	목적	내용
I 단계	출력 증강 이해	발전소 종사자의 출력 증강 기본 지식 습득
II 단계	기술 자료 변경	체계적인 발전소 운영 자료(절차서 등) 반영
III 단계	종사자 교육 훈련	시뮬레이터 개선 및 운전원/정비원 교육
IV 단계	출력 증강 적용	기술 자료 변경 확인 및 성능 시험 절차서 작성 종합 성능 시험 수행 및 평가

급 계통의 설비변경은 요구되지 않았지만, BOP 계통에서는 허용 여유도를 유지하기 위해 일부 소규모 설비 변경이 요구되었다.

터빈 발전기 계통에서는 출력 증강에 따라 증가한 증기 유량을 수용하기 위해 고압 터빈의 개선이 요구되었다.

향후 계획

출력 증강의 향후 업무는 인허가 취득 및 현장 적용 단계로서 인허가 취득, 설비 개선, 현장 적용을 위한 교육 훈련 및 시험/운전 절차서 개정이다.

국내 최초로 시도하는 출력 증강 과제를 성공적으로 달성할 수 있도록 발전소 기술 문서 변경 사항 확인 및 운영 반영, 체계적인 교육 훈련 및 설비 개선 추진, 인허가 조기 취득 및 발전소 적기 적용을 기본 목표로 추진하고 있다.

*** 추진 전략**

인허가 및 현장 적용의 목표를 성공적으로 달성하기 위하여 인허가 분야, 현장 적용 분야, 설비 개선 분야로 나누어 추진 전략을 수립하여 추진하되 미흡한 분야는 해외사

의 전문가와 경험을 최대한 활용할 계획이다. 상세 추진 내용은 다음과 같다.

- 국내의 설계사의 경험 최대 활용
- 해외 적용 발전소 기술 자문을 통한 적용 방안 수립
- 현안 사항의 조기 발굴 및 해결로 인허가 적기 취득
- 최적의 발전소 출력 증강 성능 확인 절차 수립
- 교육 프로그램 개발로 발전소 요원 조기 적용 유도

특히 본 출력 증강 기술 개발은 실제 운영중인 발전소에 적용하는 과제이므로 한치의 오차도 없이 성공적으로 적용해야 하는 점을 고려하여 발전소 운영 요원의 조기 적용을 위하여 〈표 3〉과 같이 단계별로 교육 훈련 추진 일정을 수립하여 체계적인 기술 이전 및 종사자 교육을 실시할 계획이다.

발전소 적용 후에는 종합 성능 시험을 수행하여 설계 조건과 성능을 확인할 예정이며, 성공적인 기술 개발을 바탕으로 출력 증강 기술을 국내 원전의 운영 현안 해결에 활용할 예정이며 후속 호기의 출력 증강도 계속 추진할 계획이다.

결론

앞에서 기술 한 바와 같이 국내외 전문 기관이 공동으로 추진한 고리 3,4호기 및 영광 1,2호기 출력 증강 기술 개발은 당초 예상한대로 일부 설비의 보완을 전제로 약 3~5% 범위 내에서 출력 증가가 가능한 것으로 확인되었으며 곧 인허가 심사를 착수할 계획이다.

이번 기술 개발을 통해 발전소 건설 당시의 설계 자료 입수와 아울러 웨스팅하우스형 원전의 원천 설계를 상당 부분 습득함으로써 발전소 설계 기술능력 확보 및 안전성을 재확인하는 좋은 계기가 되었다.

출력 증강은 에너지 자원이 부족한 우리나라 현실에서 앞서가는 선택이었으며 앞으로 설비 보강을 통해 목표 출력 증가를 달성할 수 있도록 최선을 다할 것이며 후속기에도 적용할 수 있도록 지속적인 검토를 해 나갈 것이다.

끝으로 고유가 시대에 원자력의 경제성을 높이는 새로운 기술로서 출력 증강이 확실한 자리매김을 할 것으로 기대하며, 산업자원부와 한국수력원자력(주)가 심혈을 기울여 추진하고 있는 원전수거물관리센터의 성공적인 건설도 부존 자원이 부족한 현실에서 앞서가는 현명한 정책으로서 환경 보호와 에너지 자립에 초석이 될 것으로 확신한다.