

KNF-
ENG-06

APR1400 주증기유량 기반 열출력 측정

안전해석처 허균
T. 042-868-1355 E. heokyun@knfc.co.kr

현재 OPR1000 원전에 적용중인
이물질 침착(Fouling) 현상이 발생하지 않는
주증기유량을 이용한 2차측 열출력
측정 방법론(MSBSCAL)을
APR1400 원전에 확대 적용

기술 내용

● 배경 및 필요성

- 국내 OPR1000형 원전의 노심운전제한치감시계통 (COLSS, Core Operating Limit Supervisory System)은 인허가 출력(Licensed Power) 감시를 위하여 2차측 열출력(BSCAL)을 이용하고 있음
- BSCAL 계산시 입력인 주급수 유량을 측정하는 주급수 벤츄리에서 이물질 침착(Fouling)과 같은 이상 현상 발생으로 주급수 유량이 과대 측정되고, 이로 인해 원자로 열출력이 과대 평가되어 노심 출력의 감소 및 전기 출력 손실을 초래하고 있음
- 주급수 벤츄리에서의 이물질 침착현상이 대부분 표준형 원전에서 자주 발생하고 있으며, 따라서 이물질 침착 현상과 무관한 주증기 유량을 이용한 원자로 열출력 측정방법론 적용이 필요하여, 관련 방법론 개발 및 인허가 승인으로 현재 OPR1000형 원전에 적용하고 있음
- 원자로 출력 변동은 원전의 경제성뿐만 아니라 안전성 측면에 중대한 영향을 미칠 수 있으므로, 유량 측정 이상 현상이 거의 없는 MSBSCAL 방법론을 APR1400 원전에 적용이 필요함

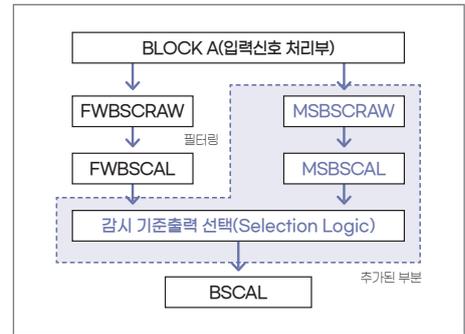
● 기술 구성

• MSBSCAL 개요

- 높은 출력(95% 이상)에서만 주증기유량 기반 열출력 선택 감시기준 허용
- 기존의 주급수 유량기반 열출력(FWBSCAL)과는 독립적 실시간 계산 및 지시
- 주기 초 이물질 침착과 같은 현상이 발생하기 전 주증기 유량을 주급수 측정유량에 고정
- 고정된 측정 주증기 유량을 이용하여 열출력을 계산

• COLSS에 MSBSCAL 적용

- 입력처리 부분, 주증기 유량기반 열출력계산 부분, 감시기준 출력선택 부분을 아래 그림과 같이 적용



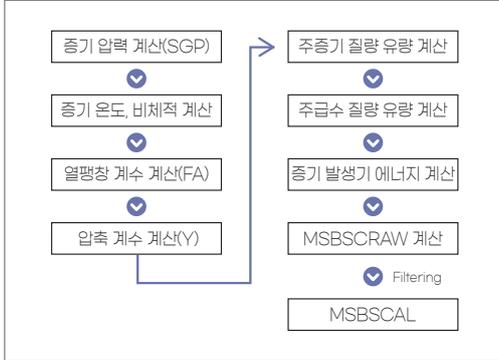
- 입력처리 부분

주증기 유량기반 열출력 계산을 위해 안전채널 S/G 평균 압력과 증기발생기별 평균 주증기유량 차압을 사용

- 열출력 계산 부분

기존 주급수 유량기반 열출력(FWBSCAL) 부분과는 독립적으로 주증기 유량기반 열출력 추가
a) 주급수 유량기반 열출력(FWBSCAL) : 주급수 벤츄리에서 측정된 주급수 유량을 입력으로 원자로 열출력 계산

b) 주증수 유량기반 열출력(MSBSCAL) : 주증기노즐에서 측정된 주증기 유량을 입력으로 원자로열출력을 계산하며, 자세한 흐름도는 아래 그림과 같음



- 감시 기준출력 선택 부분

아래 그림과 같이 운전원에 의하여 MSBSCAL 선택 스위치가 선택되고 출력이 95% 이상이며, MSBSCAL이 정상으로 계산될 때에만 MSBSCAL을 발전소 열출력으로 사용하며, 조건 중 어느 하나라도 해당되지 않으면 FWBSCAL을 발전소 열출력으로 선택

건전성		조건		BSCAL
FWBSCAL	MSBSCAL	MSBSCAL	OPMS	
GOOD	GOOD	< MSBOFF	N/A	FWBSCAL
GOOD	GOOD	N/A	RESET	FWBSCAL
GOOD	GOOD	≥ MSBOFF	SET	MSBSCAL
GOOD	BAD	N/A	N/A	FWBSCAL
BAD	GOOD	≥ MSBOFF	SET	MSBSCAL
BAD	GOOD	< MSBOFF	N/A	BAD
BAD	GOOD	N/A	RESET	BAD
BAD	BAD	N/A	N/A	BAD

● 수행 범위

- 방법론 인허가 승인에 따른 표준 COLSS 프로그램 및 연계 프로그램 개정 그리고 관련 불확실도 확인 등의 업무를 포함하여 APR1400 원전에 확대 적용

- COLSS 기능설계 요건서 개정

위의 알고리즘을 바탕으로 COLSS 기능설계 요건서 개정

- BSCAL 불확실도 분석

다양한 취출수 유량 및 유량상태에 따른 COLSS BSCAL 불확실도를 분석. BSCAL 불확실도는 측정 계기 오차, BSCAL 알고리즘 상수 및 취출수 유량 측정 불확실도를 이용하여 불확실도를 계산

- COLSS 검증시험 자료 생산

변경된 COLSS 알고리즘의 건전성을 시험하기 위해 COLSS FORTRAN 코드를 이용하여 Test case를 생산하고 이를 이용하여 검증을 수행

기술 우수성

● 기술적 측면

- 주증기 유량기반의 원자로열출력 측정기술 확립 및 열출력 감시 신뢰도 향상
- 열출력 감시자 추가로 노심관리 운영기술 및 노심 안전성 향상

● 기대효과

- 손실 열출력 회복
- 주증기 유량기반의 원자로열출력 적용 시 주급수 벤츄리에서의 이물질 침착현상에 따른 전기출력 손실 예방 가능(파울링으로 인한 손실이 평균적으로 0.5%일 경우, 주증기 유량기반 열출력 적용으로 예상되는 회복 전기출력은 APR1400 발전소 호기당 7MWe)
- $7MWe * 1,000kWe/MWe * 24hr/일 * 365일 * 67.9원/kWh * 0.8(이용률) = 33.3억/년.호기$

기술 적용현황

- 국내 표준형 원자력발전소 12개 호기에 적용 중
- MSBSCAL 적용 사례
 - 신고리 2호기 3주기 계획예방정비 이후 1개월 이상 전기출력 지속 감소
 - 주기 초 1,047 MWe 출력에서 1,040 MWe로 약 7MWe 감소하였고, 지속적인 감소 추세
 - 주급수 유량 과다 평가: 주급수 벤츄리 저압법의 막힘 현상으로 인해 이물질 침착과 유사한 증상이 나타나는 것으로 추정
 - MSBSCAL 적용으로 발전기 출력 7MWe 회복하여 경제적 효과는 약 33.3억/년 임

제공 가능 품목

- COLSS 기능설계요건서
- 2차측 열출력 불확실도 분석보고서
- On-line 프로그램 설치 검증시험 자료 및 보고서

기술완성도 (TRL)

- 양산 및 초기시장 진입

사업 방향

- 기술 이전
- 라이선싱
- 공동 연구
- 용역 수행
- 기타