

KNF-
FUEL-05

최적 임계열속 상관식 패키지

노심설계처 전종국
T. 042-868-1860 E. ckchun@knfc.co.kr

임계열속은 원자로 노심 내 원자력연료의 연료봉 가열면에서 냉각수로 정상적인 열 전달이 불가능하게 되어 연료봉 표면 및 내부 온도가 급격히 상승하여 연료봉 가열면이 손상됨으로써 방사성 물질이 원자로 일차계통으로 누설되어 원전의 안전운전을 저해하는 현상임.

이러한 현상이 발생하지 않도록 하기 위해서 실험을 통한 최적화된 상관식을 개발하여 임계열속 조건을 제대로 예측하여야 함.

1950년대 이후로 임계열속 현상에 대해 많은 연구가 진행되어 예측 가능한 방법들이 개발되었으나, 예측 모델들이 주로 제한된 범위의 실험 자료에 근거하고 있어서, 운전 조건이 변경되거나 새로운 기하형태의 원자력연료 집합체에 대해 반드시 별도의 실험을 수행하고 이를 근거로 임계열속 상관식이 개발되고 적용되어야 함.

기술 내용

● 배경

- 원전 운영을 위한 열적여유도 분석 및 안전성 입증 을 위한 안전해석은 인허가 승인된 임계열속 상관 식을 적용하여 수행되어야 함.
- 임계열속은 원전 운영 및 안전에 직접적인 영향을 주는 인자임.
- 운전 중 측정이 불가하며, 운전 상태에 따라 그 값이 달라지는 임계열속 예측을 위한 상관식 개발/적용
- 임계열속 상관식 개발을 위해서는 원자력연료의 특성을 반영한 임계열속 시험자료 및 자료 분석을 위한 해석코드, 함수형태 결정 및 최적화를 위한 회귀 분석 방법과 상관식 검증에 위한 절차가 필요함.

● 목적 및 필요성

- 임계열속 상관식의 변경 적용은 원자력연료의 성능 개선 과정에서 수행하는 것이 일반적이거나 운전 전략 변경 또는 안전성 확보를 위해 개별적으로도 시행 이 가능함.
- 임계열속 상관식 적용시 개발/검증 및 인허가 심사/ 승인 과정에서의 정해진 조건을 준수하여야 함.
- 임계열속 시험자료의 생산(시험시설/절차)은 관련 품질 및 규제요건을 충족하여야 함.

● 기술원리, 구성 및 절차, 수행 범위 등

- 임계열속 상관식은 축소된 특정 원자력연료 집합 체를 대상으로 임계열속 시험을 수행하여 실제 원자 로 정상 운전조건 및 안전해석조건에 대해 임계열속 발생 특성과 정보를 수집하여 개발됨.

- 원자로의 핵분열에 의한 출력은 원자력연료 연료봉에 전기적인 가열로 모사됨.
- 해당 시험은 시험계획과 필수 시험부로 구성되고, 관련 법령 및 품질 보증 요건에 따라 수행됨.

- 추후 자체 시험시설 구축 및 범용 임계열속 상관식 개발 추진 가능
- 임계열속 상관식 외 시험 자료를 기반으로 한 모든 상관식 검증 가능

기술 우수성

● 기술특징

- 품질 및 규제 요건을 충족하는 고객 맞춤형 임계열속 상관식 패키지 제공
 - 열적여유도 최대화를 위한 최적 임계열속 상관식 적용(운전 유연성 확대 및 안전성 확보 고려)
 - 열적여유도 최적화를 위한 이중 임계열속 상관식 적용(기기변경 및 후속업무 최소화 고려)
 - 잠재적 안전성 유지를 위한 보수적 임계열속 상관식 적용(기준선 임계열속 상관식)
- 고신뢰도로 규격화된 개발/검증 절차
 - 임계열속 상관식 개발절차 규격화 : 임계열속 상관식 개발 체계(CHOPPER), 임계열속 상관식 개발/검증 전 과정에서 인적 오류 방지 및 소요 기간 단축
 - 안정화된 검증기법 적용 : 반복교차검증 체계
- 입증된 기술 : 국내 및 해외(미국) 인허가 승인
 - 임계열속 상관식
 - 임계열속 상관식을 이용한 원전 설계 및 안전해석

● 기대효과

- 임계열속시험 수행, 상관식 개발 및 인허가 등의 독자적 제공으로 원전 운영의 안전성 향상 및 발전원가 절감
- 국내외 인허가 경험 축적 및 특허 취득으로
- 해외 잠재 경쟁사 대비 기술 경쟁력 확보

기술 적용현황

- 최적 임계열속 상관식(2023년 3월 기준)
- 보수적 임계열속 상관식(2023년 3월 기준)

제공 가능 품목

- 시험계획 수립 및 시험 수행(대행)
- 임계열속 상관식 개발 및 검증
- 인허가 보고서 작성 및 인허가 심사 지원
- 설계 전산 코드 수정 및 적용을 위한 분석
- 교육 및 기술 지원

기술완성도 (TRL)

- 양산 및 초기시장 진입

사업 방향

기술 이전

라이선싱

공동 연구

용역 수행

기타

최적 임계열속 상관식(2023년 3월 기준)

상관식 명	원자력연료 집합체	인허가 현황	적용 원전
WRB-2	16ACE7	해외도입기술, 국내완료	고리 2
NGF	17ACE7	국내완료	고리 3/4, 한빛 1/2, 한울 1/2
KCE-1	PLUS7	국내완료/해외(미국, UAE)완료	국내 OPR1000(12개 호기), 국내외 APR1400(10개 호기)
KNF-X	HIPER17	국내완료	계획 중
KCE-1M	HIPER16	국내완료	국내 인허가 심사 중
KNF-H	HIPER16	국내완료	계획 중

보수적 임계열속 상관식(2023년 3월 기준)

상관식 명	원자력연료 집합체	인허가 현황	적용 원전
W-3	다양	해외도입기술	특정 사고조건
Macbeth	다양	해외도입기술	특정 사고조건