

1차원 확산 모델을 이용한 전출력 제어봉 이탈 사고 해석

최재돈, 엄길섭, 이병일, 김정진, 김희철
한국원자력연구소

요 약

CE형 발전소 설계시 사용된 일부 전산코드들이 한시적으로 사용이 허가되어 국내 고유 전산코드로의 대체가 불가피하게 되었으며 그 예로 제어봉 이탈사고 해석에 사용된 STRIKIN II 코드를 들 수 있다. 한편 원자력 연구소에서 개발한 범용 전산코드 TASS의 노심 출력 계산은 1차원 확산 모델을 사용하여 축방향 노심 출력 계산이 가능하다. 본 논문에서는 이러한 전산코드 사용의 문제를 해결하고 또한 1차원 확산 모델의 제어봉 이탈 사고에 대한 적용 계산을 위해 TASS를 사용하여 제어봉 이탈사고 해석을 수행하고 그 대체 및 적용 가능성과 그 효과를 평가하였다. 계산 결과 1차원 확산 모델을 사용한 TASS 결과가 Point Kinetics 모델을 사용한 STRIKIN II 결과에 비해 보다 많은 운전 여유도를 확보하는 것으로 나타나 대체 및 적용 가능성을 확인하였다.

1. 서 론

현재 운전 또는 건설중인 CE형 발전소의 제어봉 이탈 사고 해석은 STRIKIN II를 사용하여 사고 해석을 수행하고 있다. CE에서 개발된 STRIKIN II 코드는 노심 출력 계산을 Point Kinetics 모델을 사용하였으며 과도 상태시 압력의 증가를 고려하지 않고 초기 압력을 사용하여 최소 핵비등 이탈율을 계산하는 보수적인 전산코드이다. 그러나 제어봉 이탈 사고 해석시 사용된 STRIKIN II 코드는 계약에 의해 한시적으로 사용이 허가된 제한코드이므로 계약이 만료되면 더 이상 설계에 사용할 수 없어 이 코드를 대체할 수 있는 전산 코드를 개발해야 하는 현실에 직면해 있다. 한편 원자력 연구소에서 개발한 범용적 전산 코드 TASS의 노심 출력 계산 모델은 1차원 확산 모델을 사용하였으며 제어봉 인출 사고에 대한 적용 계산을 수행하였으나 제어봉 이탈 사고에 대한 적용 계산 절차는 확립되지 않았다 [1]. 이러한 제한 코드의 문제를 해결하며 또한 TASS 코드의 1차원 확산 모델의 제어봉 이탈 사고에 대한 적용 절차를 확립하기 위해, 본 논문에서는 TASS코드로 영광 3호기 2주기 BOC 전출력 제어봉 이탈 사고를 해석하여 대체 및 적용 가능성 및 효과를 평가하였다. 제어봉 이탈 사고는 순간적으로 부분강 제어봉 집합체의 급격한 이탈로 인하여 노심의 출력, 온도 및 압력이 증가하는 반응도 관련 사고중 대표적인 사고이다. 이러한 사고 진행은 1초

이내에 노심 고출력 정지 신호에 의해 원자로가 정지되어 사고가 종결된다.

2. 계산 및 결과

2.1 TASS 코드의 1차원 확산 모델 적용 계산

TASS 코드의 1차원 확산 모델 적용 계산은 핵적 인자들을 영광 3호기 2주기 BOC의 설계치와 잘 일치하도록 하는 적용 인자의 계산으로서 제논 반응도가 적용, 출력 적용, 제어봉가 적용으로 나누어져 있다. 적용 과정은 1차원 코드로 임계 상태를 계산한 후 구해진 제논 반응도가, 축방향 출력 분포, 제어봉가들을 설계치와 비교하여 일치 여부를 점검하고 기준을 만족하지 않을 때에는 새로운 적용 인자들을 추측하여 1차원 코드의 임계 상태 계산을 반복함으로써 적용 인자들을 결정하게 된다. 적용 계산시 사용된 영광 3호기 2주기 BOC 핵적 인자들은 [2] 표 1에 나타나 있다.

2.2 과도 현상 분석

TASS코드로 CE형 발전소의 전출력 제어봉 이탈 사고를 해석하여 대체 및 적용 가능성 및 효과를 평가하기 위하여 영광 3호기 2주기 BOC 조건에서 계산을 수행하였다. 사고 해석시 사용된 초기 조건들은 표 2에 나타나 있으며 가정 사항들은 아래와 같다.

- 가. 부분강 제어봉 완전 이탈 시간은 0.05초이다.
- 나. 원자로의 정지는 노심 고출력 신호에 의하여 발생한다.
- 다. 원자로의 노심 고출력 정지 설정치는 127 % 이다.
- 라. 원자로의 정지신호의 지연시간은 1.05초이며 정지제어봉은 0.85초동안 삽입된다.

위의 초기조건 및 가정들을 사용하여 계산된 STRIKIN 및 TASS 코드로 모의한 사고 진행 과정이 표 3에 나타나 있으며, 그림 1 및 2는 노심 출력 및 가압기 압력의 시간에 따른 변화가 도시되어 있다. 그림 1에 나타난 바와 같이 제어봉 이탈 사고시의 노심 최대 출력은 1차원 확산 모델을 사용하는 TASS 코드의 계산 결과가 Point Kinetics를 사용하는 STRIKIN II 코드의 결과에 비해 약 15.8 % 정도 낮게 계산된다. 한편 그림 2에서 사고 진행중 가압기 압력 거동을 나타낸 바, TASS에서는 가압기 압력이 노심 조건에 따라 증가하는 것으로 분석하였으나 STRIKIN에서는 핵비등 이 탈을 관점에서 가압기 압력이 보수적으로 사고 초기값으로 유지된다고 가정하고 있다. 이 때 그림에서 관측되듯이 사고 진행중 TASS로 계산된 가압기 압력은 2.9초에 2311 psia로서 STRIKIN의 가정값과 61 psia 차이를 보이고 있다. 이러한 차이를 압력 변화에 따른 POL (Power Operating Limit) 값 변화의 비를 지수로 나타낸 압력 POL 미분값, 0.02394 %을 사용하여 평가한 결과 TASS 코드가 STRIKIN II 코드에 비해 압력차에 따른 운전 여유도를 약 1.5 % 더 확보함을 알 수 있었

다. 결론적으로 TASS 코드가 STRIKIN II 코드에 비해 최대 노심 출력은 약 15.8 % 낮게 예측함과 동시에 입력을 61 psia 높게 예측하므로 그 차이를 운전 여유도로 환산하면, TASS 코드를 사용한 경우 STRIKIN II 코드를 사용한 경우에 비해 운전 여유도를 약 17.3 % 더 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

3. 결 론

본 논문은 제한 코드의 문제를 해결하며 또한 TASS 코드의 1차원 확산 모델의 제어봉 이탈 사고에 대한 적용 절차를 확립하기 위해, TASS코드로 CE형 발전소의 전출력 제어봉 이탈 사고를 해석하여 대체 및 적용 가능성 및 효과를 평가하기 위하여 영광 3호기 2주기 BOC에 대해서 수행하였다. 계산 결과, 전출력 제어봉 이탈 사고 해석시 STRIKIN II 코드의 결과에 비해 영광 3호기 2주기 BOC 노심의 경우 약 17.3 %의 운전 여유도가 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 제한 코드인 STRIKIN II 코드를 TASS 코드로 대체할 수 있는 가능성을 확인하였으며, 또한 TASS 코드의 1차원 확산 모델을 사용한 제어봉 이탈사고에 대한 적용 절차를 확립하였다.

그러나 TASS 코드는 STRIKIN II 코드에 비해 해당 핵연료봉의 노드 수가 적고 평균노심만을 모사하는 단일수로 모델을 가지며 핵연료와 피복재 사이의 간극 전도도는 상수로만 입력이 가능하다. 따라서 기존의 CE형 안전성 분석 방법론과 부합되기 위해서는 TASS 코드의 핵연료봉의 노드 수의 확장, 고온 수로 모델 추가 및 핵연료 물성치 (예 : 간극전도도) 입력파일을 처리할 수 있는 연계 프로그램 개발등이 필요하겠다.

참고 문헌

- [1] 최재돈 외, "TASS 1.0의 1차원 확산 모델을 이용한 전출력 제어봉 인출 사고 해석," 한국원자력학회 추계학술집, 1995.
- [2] 영광 3호기 2주기 핵설계 보고서, 한국 원자력 연구소.

표 1. 영광 3호기 2주기 BOC 핵적 인자의 초기조건

변 수	값	
임계붕산농도, ppm	780	
제논반응도가, pcm	2703.4	
초기 부분강 제어봉 위치, step	69	
부분강 제어봉 특성	Step	제어봉가 (pcm)
	0	261
	31	234
	63	179
	94	126
	126	80
	168	27
	200	0

표 2. 전출력 제어봉 이탈 사고 해석 초기 조건

변 수	값
노심 출력, Mw	2815
가압기 압력, psia	2250
정지 반응도, pcm	6000
저온관 온도, °F	564.5
이탈 반응도가, pcm	171

표 3. 전출력 제어봉 이탈 사고의 진행 과정

시간 (sec.)		사건
TASS	STRIKIN II	
0.04	0.03	노심 고출력 원자로 정지신호 발생
0.05	0.05	제어봉 완전 이탈
0.15 (150.4 %)	0.1 (166.2 %)	최대 노심출력 도달
2.9 (2311 psia)	-	최대 가압기 압력 도달

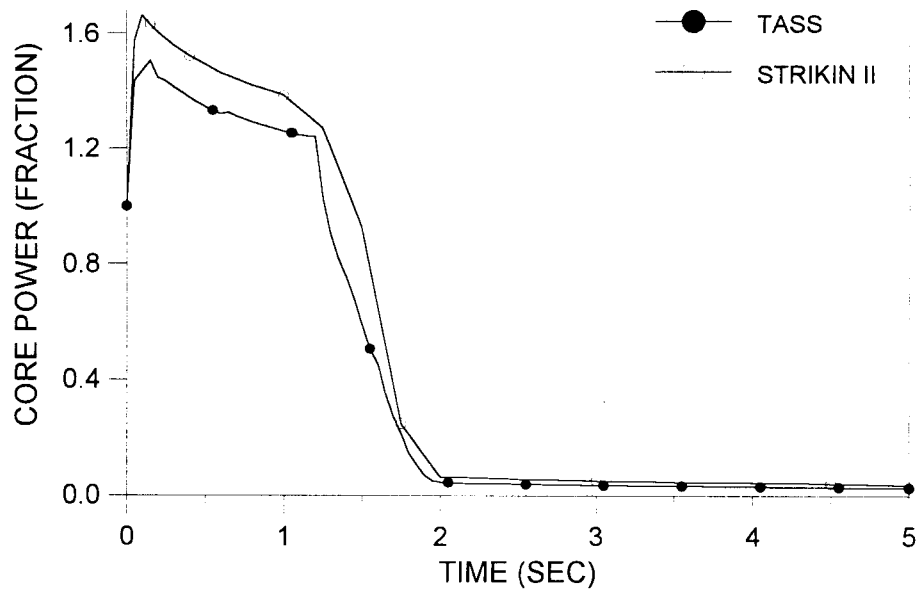


그림 1 노심 출력

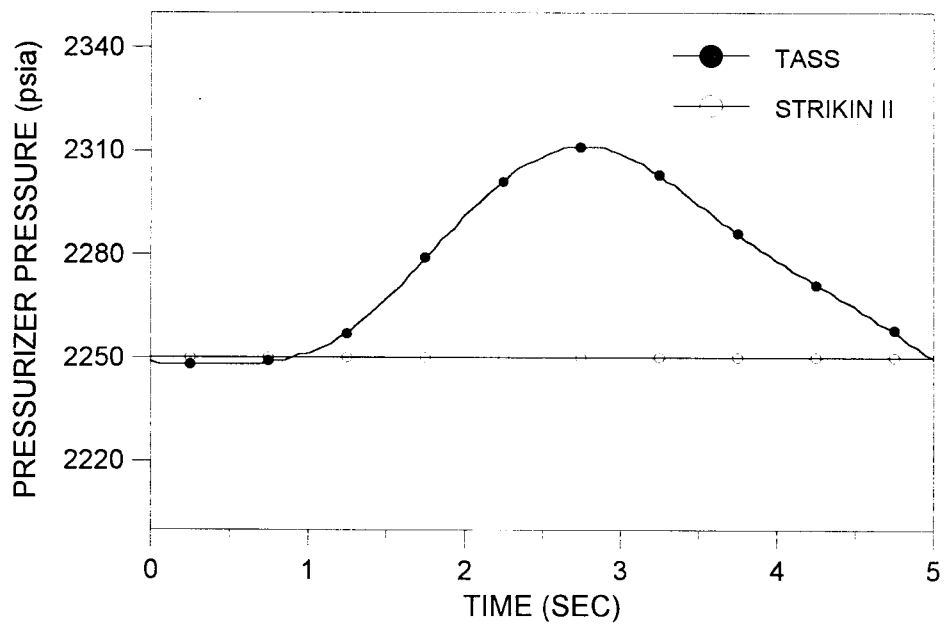


그림 2 가압기 압력