

'98 춘계 학술발표회 논문집

한국원자력학회

OP Δ T/OT Δ T 응답시간 시정수 변화에 따른 영향 분석

윤덕주

전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

과잉온도 차온(Overtemperature ΔT) 및 과잉출력 차온(Overpower ΔT) 트립에 쓰이는 온도 측정계통 총 지연시간은 6초로 구성되며 RTD 우회배관 제거시 4.5초의 RTD 응답시간(일차지연상수로 가정)과 1.5초의 순수지연시간(전자회로 지연시간 + 그립퍼 풀립시간등)으로 구성된다. 그러나 RTD우회배관 제거전 사고분석을 일차지연상수를 3.5초, 순수지연을 2.5초로 모델링하였으므로 Simulink를 통한 영향분석과 Rack 응답시험 계단과 입력신호의 타당성을 평가하였다. RTD 응답시간은 전형적인 1차 지연요소로 나타내며 계전기나 제어봉 Gripper Release 시간 등은 순수 지연으로 가정하고 분석을 수행하고 기타 지연/지상 필터를 발전소와 동일하게 모델링하여 분석함으로써 발전소에서 일어나는 과도현상을 모사할 수 있다는 점을 고려할 때 RTD우회배관 제거후 응답시간 지연상수가 바뀌더라도 안전하다는 결론에 도달했다.

1. 개요

Overtemperature ΔT 및 Overpower ΔT 트립계통에 쓰이는 온도 측정계통 총 지연시간은 6초이고 RTD 우회배관 제거시에는 이 총 지연시간이 4.5초의 RTD 응답시간과 1.5초의 기타 지연시간(전자회로 지연시간 + 그립퍼 풀립시간등)으로 구성된다. 고리1,2호기의 경우 기존의 안전분석시에 1차 지연요소(first order lag delay)의 3.5초와 순수 지연시간(pure delay)의 2.5초로 나누어 모델링되었으므로 이에 대한 영향분석을 수행하고자 한다.

2. 정지계통 회로도

가. RTD 센서 응답시간(first order lag delay)

RTD응답시간은 보호관에서 열전달을 동적모델로 나타낸다. 온도 제어시스템의 동적모델들은 열에너지의 흐름과 저장을 포함하고 있다. 열 에너지는 물체 양단의 온도차에 비례하는 비율로 물체를 통하여 흐른다. 즉,

$$q = \frac{1}{R} (T_1 - T_2) \quad (1)$$

여기서

q = 열에너지 흐름, J/S

R = 열저항, $^{\circ}\text{C}/\text{J/S}$

T = 온도, $^{\circ}\text{C}$

물체 내부로 흘러 들어가는 순수 열 에너지 흐름은 다음 식에 따라 물체의 온도에 영향을 준다.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C} q \quad (2)$$

여기서

C = 열용량, J/ $^{\circ}\text{C}$

식 (1)과 식 (2)을 적용하면 다음과 같다.

$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{R} \right) (T_o - T_i) \quad (3)$$

여기서

C = 상자내부 물질의 열용량

T_o = 외부 온도

T_i = 내부 온도

R = 상자 윗면의 열저항

실린더의 경우 다음 식에 의해 열저항 R 을 표현할 수 있다.

$$R = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} \quad (4)$$

여기서 A 는 단면적, k 는 열전도도, L 은 길이이다. 3식의 해를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{T(t) - T_o}{T_i - T_o} = e^{-t/RC} \quad (5)$$

여기서 $T(t)$ 는 시간에 따른 RTD내부온도이다. T_o 는 RTD 외부온도, $T(0)=T_i$ 는 내부 초기온도이다. 5식을 Laplace 변환식으로 나타내면

$$\frac{T(t) - T_o}{T_i - T_o} = \frac{1}{s + 1/RC} \quad (6)$$

(6)식에서 알 수 있는 바와 같이 RTD 센서 응답시간은 일차지연 요소임을 알 수 있다. 안전분석시 RC를 고리1,2호기는 3.5, 고리3,4호기는 5.0초로 적용하였으며 고리1호기의 RTD 우회배관 개조후 센서응답 시간 제한값(RC)은 4.5초, 고리3,4호기는 4.0초이다.

나. 앞섬보상

비례미분 보상의 고주파 증폭과 관련된 잡음민감도를 완화시키기 위하여, 분자 부분의 절점보다 매우 큰 주파수에서 1차 극점을 분모에 추가한다. 그래서 위상증가 (혹은 “앞섬”)는 여전히 발생하지만, 고주파에서의 증폭은 제한된다. 이러한 앞섬보상(lead compensation)의 전달함수는 다음과 같다.

$$D(s) = k \frac{Ts + 1}{aTs + 1} \quad (7)$$

여기서 $a < 1$ 이다. 이 앞섬보상의 주파수응답을 보여준다. 상당한 양의 위상앞섬이 일어나지만

파에서 증폭은 훨씬 줄게 된다. 보상은 대수좌표계 상에서 두 절정, $1/T$ 과 $1/aT$ 사이의 중간쯤에서 최대 위상앞섬이 생길도록 한다.

다. 뒤집보상

뒤집보상(lag compensation)이라고 불리우는 비례-적분과 비슷한 또 다른 보상방법이 있다. 이것의 전달함수는 다음과 같다.

$$D(s) = K \frac{Ts+1}{aTs+1} \quad (8)$$

여기서 $a>1$ 이다. 외형상으로는 식 (7)의 앞섬보상과 동일해 보이지만, $a>1$ 이므로 극점이 영점보다도 더 낮은 절점주파수를 갖게 된다. 따라서 주파수응답 곡선에서 분명히 알 수 있듯이, 저주파에서 크기가 증가되고 위상이 감소(지연)되어 이 보상은 저주파에서 큰 계인을 갖는 적분제어의 본질적인 특징을 갖는다.

표1. OT/ΔT/OP/ΔT 응답시간 세부내역

항 목	고리 1/2호기			고리3/4, 영광1/2호기		
	개조전	개조후	안전분석	개조전	개조후	안전분석
Bypass loop fluid transport	2.0	-	first order lag delay : 3.5	2.25	-	first order lag delay : 5
RTD device	0.5	4.5		2.75	4.0	
RTD electronic filter	2.0	1.5	pure delay : 2.5	3.0	3.0	pure delay : 3
Electronics delay, Trip breaker, Gripper release	1.5					
Total	6.0	6.0	6.0	8.0	7.0	8.0

3. 결 과

계단과 입력에 대해 지연상수를 3.0초에서 5.0초까지 변화시켰을 때 출력의 변화를 그림 2부터 그림11에서 나타냈다. Simulink 프로그램을 통해 작성되었으며 지연상수변화에 따른 출력의 변화도 2초이내임을 알 수 있다.

4. 우회배관제거에 의한 지연/지상회로 영향

트립설정치에는 진상-지상(lead-lag)회로가 가미되어 있다. 이런 진상-지상회로들은 안전해석시 컴퓨터 코드에 모델링되어 해석에 반영된다. 즉, 진상-지상회로에 의한 지연시간 및 제어붕이 노심바닥까지 낙하하는데 걸리는 시간은 사고해석시 컴퓨터 코드로 모델링하기 때문에 고려대상이 아니다.

그러나 진상-지상회로를 반영하더라도 실제 트립신호는 컴퓨터 코드에서 사고를 분석할 때 추가의 지연요소를 고려해야한다. 즉, 고온관 온도는 고온관에서 직접 계측하는 것이 아니라 온도계가 설치된 지점까지 우회배관으로 고온관 냉각재가 흘러가는 시간, RTD가 감지하는 센서 응답시간(변화된 온도가 온도계측기에 전달되어 전기적인 신호로 만들어내는데 걸리는 시간), 신호가 전자회로 카드와 카드를 통과하는데 걸리는 시간, 트립 차단기를 통과하여 그립퍼를 느슨하게 해주는 데까지 걸리는 기계적인 시간들 때문이다. 결론적으로 진상-지상회로에 의한 지연시간(이 값은 설정치에 따라 음일수도 있음)은 안전분석시에 반영되었으므로 현장 시험시 단순히 전자 부품만의 지연상수를 계측할 수 있는 계단파입력을 사용한다.

5. 결론

고리 1,2호기 안전분석에서 1차 지연시간이 3.5초, 순수 지연시간이 2.5초로 모델링하였다. 즉 RTD 응답시간 요건이 4.5초이나 실제 3.5초에 가깝다. 3.5초에서 4.5초로 지연상수를 바꿔가며 시뮬레이션 한 결과 트립온도신호의 출력은 1초 이내로 지연되었으며 이는 순수지연으로 생각할 수 있으므로 3.5초, 2.5초 가정이 타당하다고 하겠다. 더군다나 4.5초의 1차 지연상수와 1.5초의 순수지연으로 모델링하여 안전분석을 수행한 결과 기존의 3.5초, 1.5초의 분석결과와 동일한 결과를 생산하였으므로 이러한 결론을 뒷받침한다.

참고문헌

1. 고리1발전소 원자로 정지계통 응답시험 절차서
2. 고리3,4호기 Process Control System Scaling Manual WCAP-10378
3. OPTOAX use's Manual, WCAP-12518
4. Westinghouse, Design Bases for the Thermal Overpower ΔT and Thermal Overtemperature ΔT Trip Function, WCAP-8745-P-A
5. 주운표 외, '원자로정지 관련 동적보상기의 응답시간 평가', 96춘계원자력학회 학술발표대회 논문집, P 309-312
6. 이재용, '원자로 보호계통 응답시간 측정방법 개선에 관한 보고서', 전력연구원, 97전력연-단 232, 1997.6.19

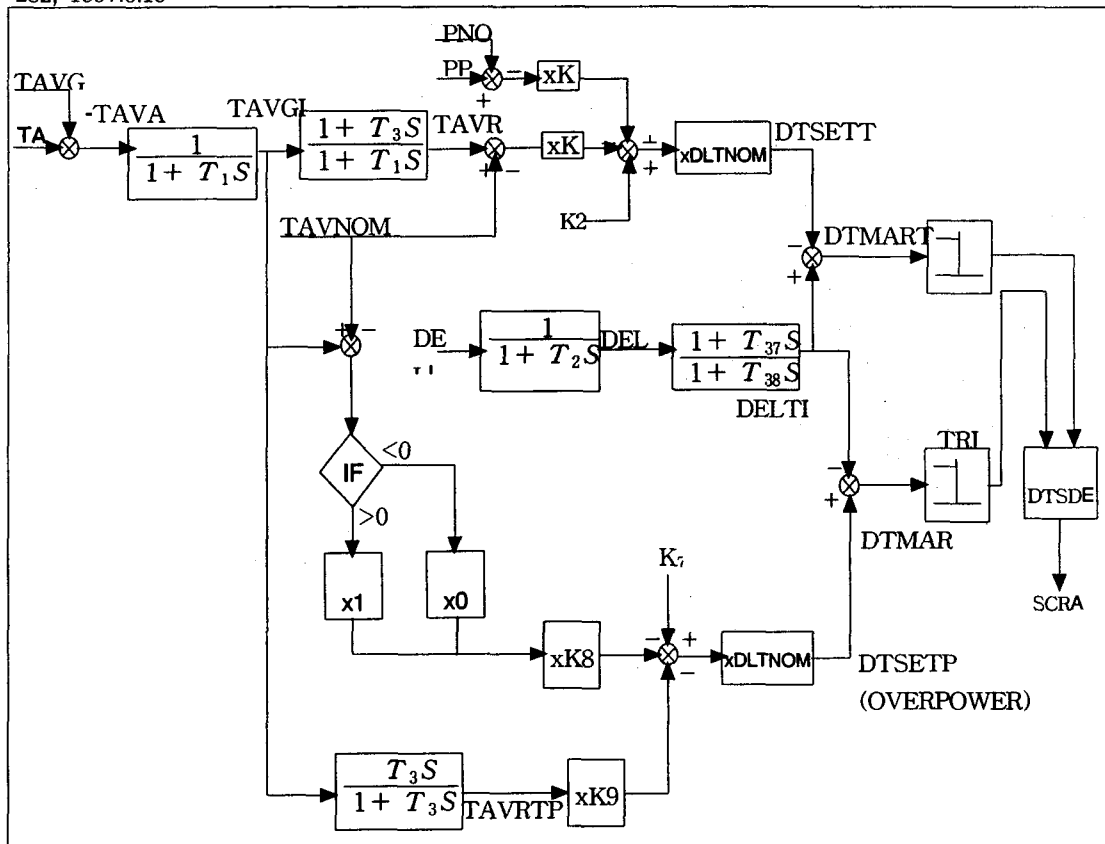


그림1. 원자로정지(OT ΔT /OP ΔT) 회로도

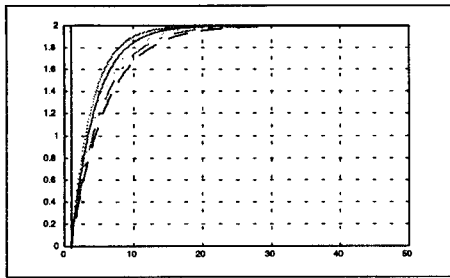


그림2. 계단과 온도응답(TAVGI)

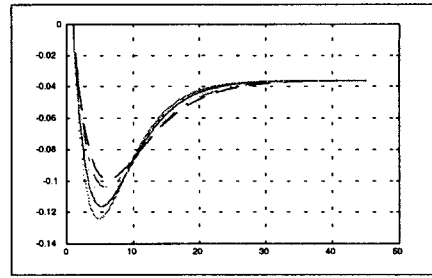


그림3. 계단과 온도응답(DTSETT)

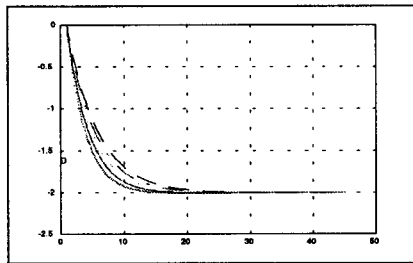


그림4. 계단과 온도응답(DTSETP)

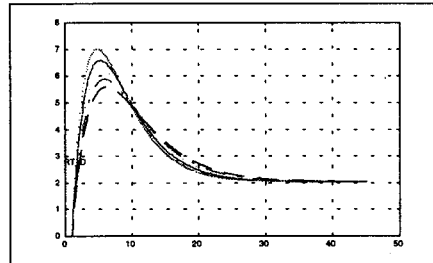


그림5. 계단과 온도응답(DTMART)

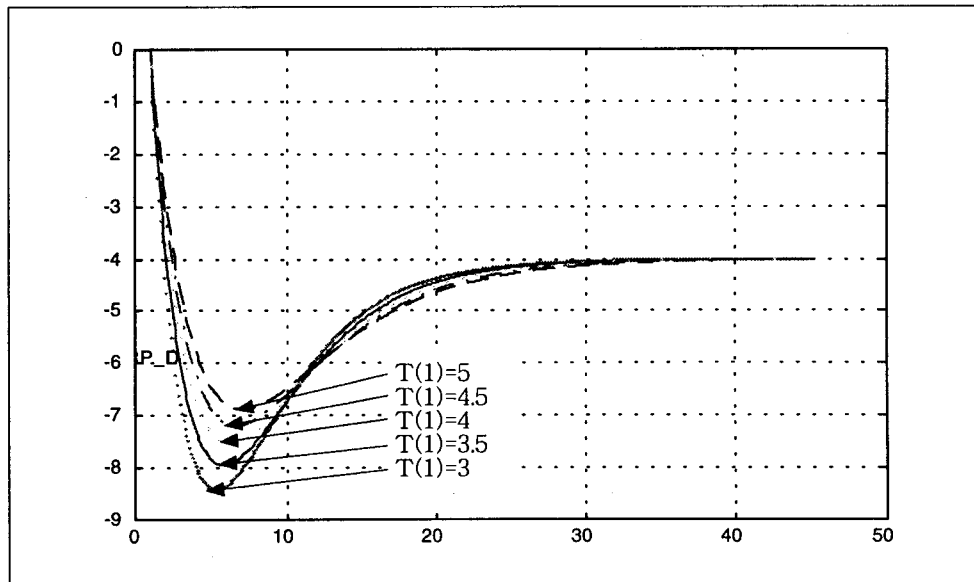


그림6. 계단과 온도응답(DTMARP)

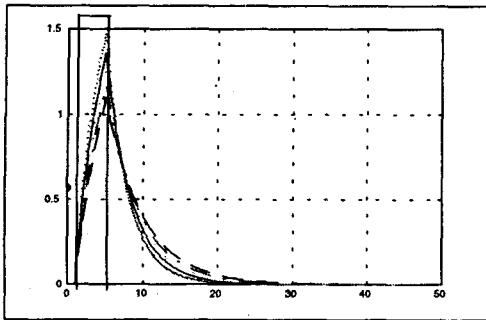


그림7. 펄스계단과 온도응답(TAVGI)

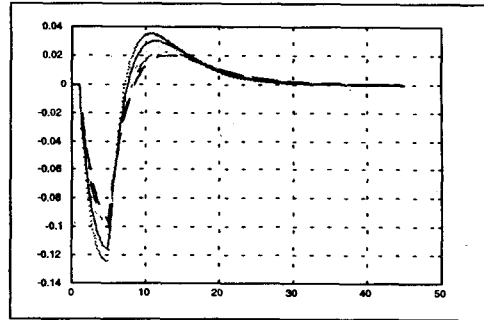


그림8. 펄스계단과 온도응답(DTSETT)

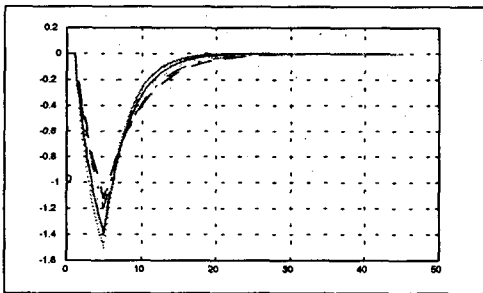


그림9. 펄스계단과 온도응답(DTSETP)

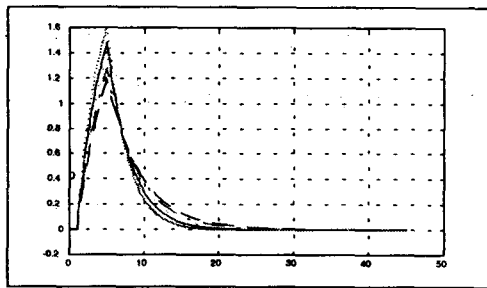


그림10. 펄스계단과 온도응답(DTMART)

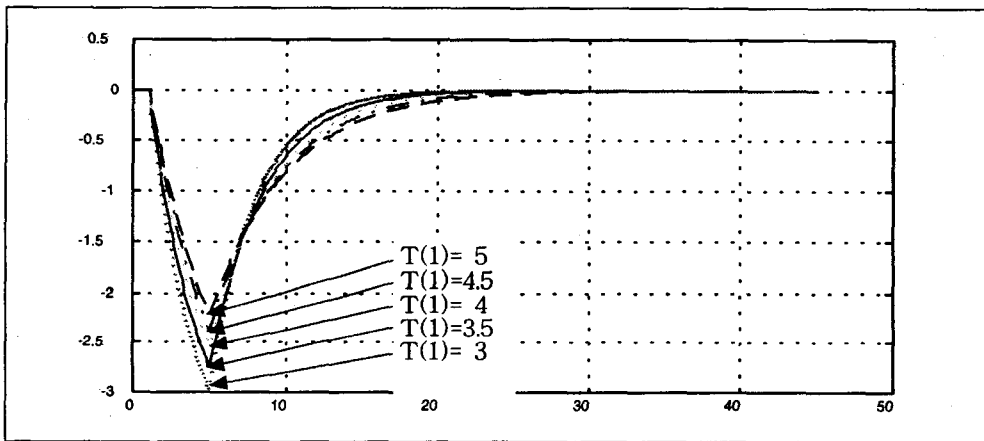


그림11. 펄스계단과 온도응답(DTMARP)