

원자력 발전소 운전원 훈련용 가상 시뮬레이터 제어봉 제어계통 모델링

최정훈
한전 전력연구원

Virtual Simulator Rod Control System Modeling for Nuclear Power Plant Operator Training

J.H. Choi
KEPRI (Korea Electric Power Research Institute)

ABSTRACT

이 논문은 고리 #1 원자력 발전소를 기준 발전소로 하여 개발되고 있는 운전원 교육용 가상 시뮬레이터의 일부로서, 제어봉 제어계통 모델링에 대한 내용을 제시하는 것이 주된 목적이다. 제어봉 제어계통의 목적은 원자로 출력을 변화시키기 위하여 제어봉 집합체(RCCA)를 동작시켜 단기적인 반응도(Short Term Reactivity)를 조절하기 위한 것이다. 실제 발전소와 똑같은 제어봉 제어가 가능하며, 실제로 운전원이 가상 시뮬레이터를 통해서 모든 상황과 사고들을 대처하는 능력을 가질 수 있도록 설계되었다. 본 논문에서는 고리 #1 원자력 발전소 운전원 교육용 가상 시뮬레이터를 구현하기 위해 현재까지 설계된 제어봉 제어계통의 기능, 구성, 제어봉 제어에 대한 전반적인 내용을 제시하고자 한다.

1. 서 론

현재 우리나라에는 6기(1기 건설중)의 운전원 훈련용 시뮬레이터가 영광, 울진, 월성 3개의 훈련센터와 원자력 교육원에 설치되어 운영되고 있다. 그러나 고리1호기는 다른 원자력 발전소와는 달리 고리1호기를 그대로 모의하는 시뮬레이터(Reference Simulator)가 없는 실정이다. 원자력 발전소 운전원 훈련을 위해 가장 효과적인 훈련도구는 기준 발전소를 그대로 모의하는 전범위 시뮬레이터가 가장 효과적이지만, 훈련 목적에 따라 여러 종류의 시뮬레이터를 혼합하여 상호 보완적으로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

고리1호기의 환경과 같은 시뮬레이터는 많은 계통들이 서로 연결되어서 통합으로 운영이 되어진다. 이 중에서 제어봉 제어계통에 대하여 기본적인

동작 원리 및 구성을 설명하고, 개발된 시스템의 시뮬레이션 파형 및 소프트웨어 판넬에서 표시되어지는 그림들을 첨부하고 설명한다.

2. 제어봉 제어계통 모델링

2.1 고리 제어봉 제어계통 분석

제어봉 제어계통의 목적은 반응도를 조절하여 원자로 냉각재 계통의 계획된 평균 냉각재 온도(Program Tavg)를 유지시키는 것이다.

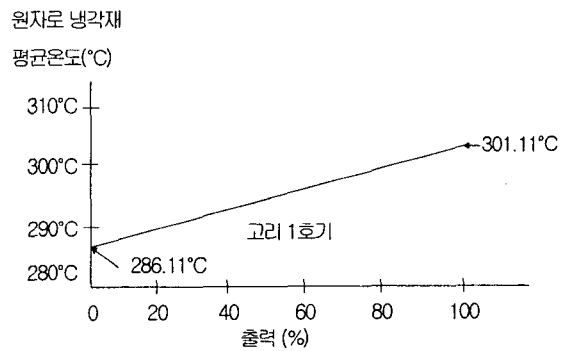


그림 1 원자로 냉각재 평균온도 프로그램

터빈출력을 나타내는 기준온도(Tref)와 원자로 냉각재 평균온도(Tavg)간의 오차가 미리 설정된 불감대(Dead Band)량 보다 크게 되면 자동운전 조건에서 제어봉이 인출 또는 삼입되어 원자로 냉각재 평균온도를 기준온도와 일치시킨다.

제어봉이 움직이는 속도는 온도차의 크기에 따라서 변화하도록 설계되어 있으며 제어봉의 인출 방향은 원자로 냉각재 평균온도가 기준온도에 비하여 높거나 낮음에 따라 결정된다. 그림 2는 자동운전상태에서 온도편차에 따른 제어봉의 속도를 나타내는 그래프이다.

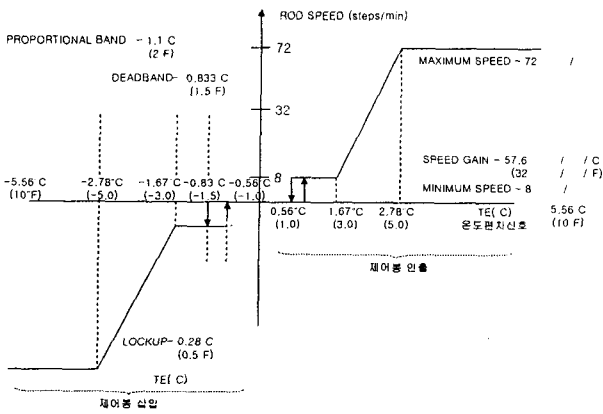


그림 2 제어봉 속도 프로그램

고리 1호기의 제어봉의 총 개수는 29개로써 크게 두 종류로 구분되는데 즉 2개의 정지용 제어봉군 (Shutdown Bank)과 제어용 제어봉군(Control Bank)으로 구분된다. 정지봉군은 원자로 정지시 대량의 부(-)반응도를 노심 내에 주입시키기 위해 사용되며, 제어용 제어봉군은 노심 내의 반응도와 원자로 냉각재 평균온도를 변화시키기 위해 사용된다.

제어봉 제어계통은 크게 논리함, 전원함, 주제어실 제어기기로 구성되어진다. 논리함은 원자로 제어함 (Reactor Control Unit)으로부터 출력 편차의 변화율에 비례하는 신호, 온도편차에 비례하는 신호, 고정된 수동 제어봉 속도 등과 같은 입력신호를 받아 제어봉을 동작시키기 위한 순서 신호를 만들어 이 신호를 전원함(Power Cabinet)으로 전송한다. 전원함은 논리함으로부터 신호를 받아서 3상 교류 전력을 순서적인 직류 전류 펄스로 바꾸는 기능을 한다. 주제어실 제어기기는 삽입-정지-인출 조종간 (In-Hold-Out lever), 제어봉 군 선택 스위치(Bank Selector Switch), 스텝계수기(Step Counter), 삽입-인출 지시등(In-Out Lights), 기동 누름단추 (Startup Pushbutton), 경보 원상복귀 누름단추 (Alarm Reset Pushbutton), 올림코일 차단 스위치 (Lift Coil Disconnect Switches)등으로 구성되어 있다.

제어봉 제어계통은 2가지 오차신호 계열로부터 발생하는 요구량에 따라 제어봉의 속도 및 방향을 결정한다. 즉 한 계열은 실제 냉각재 평균온도와 계획된 기준온도와 비교되고, 다른 계열은 원자로 노심으로부터의 열 출력과 터빈의 출력율을 비교한다. 이들 오차 신호 요구량의 합은 제어봉 속도 및 방향의 요구 신호를 발생한다. 그림 3과 그림 4는 출력편차에 따른 이득을 나타내주는 비선형 이득함과 파워에 따른 이득을 나타내는 가변이득함을 그

래프로 나타낸 것이다.

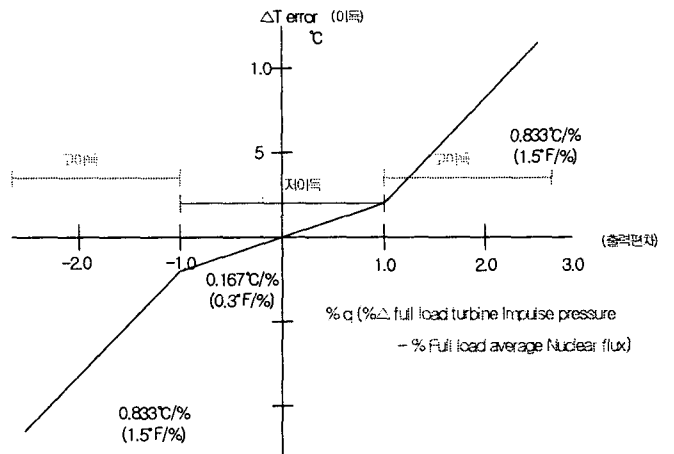


그림 3 비선형 이득함

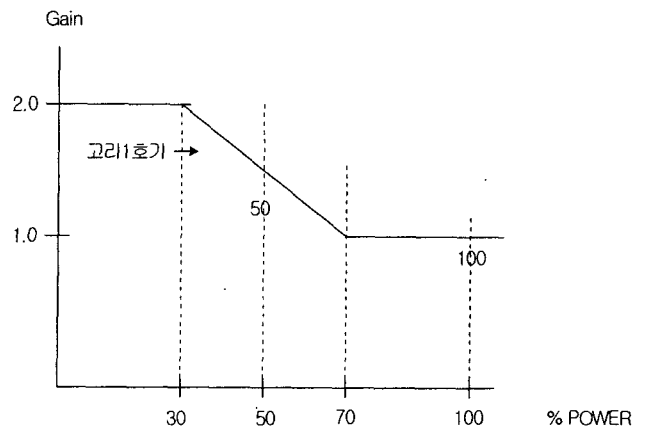


그림 4 가변 이득함

2.2 제어봉 제어계통의 구현

시뮬레이터는 SSP 프로그램을 사용하여 구동되어지고, 여기서 나오는 변수를 DataPlant 툴을 통하여 화면에 디스플레이 되어진다. 자세히 말하면 제어봉 제어계통에서는 터빈출력 기준온도인 Tref 와 원자로 냉각재 평균온도인 Tavg를 받아서 온도편차를 계산하고, 계산되어진 온도편차에 따라서 제어봉의 입출력 및 속도 등을 계산하게 된다. 이 계산 값을 가지고 실제 제어봉이 움직이고, 움직인 제어봉의 위치를 노심계통에 보내어서 원자로의 출력을 조절한다. 또한 제어봉 위치, 제어봉 속도 및 스텝카운터 값은 OPC 서버를 통하여 DataPlant로 실시간 전송하여 화면에 디스플레이 되어진다. 그림 5는 위에서 언급한 데이터 흐름을 나타낸 것이다.

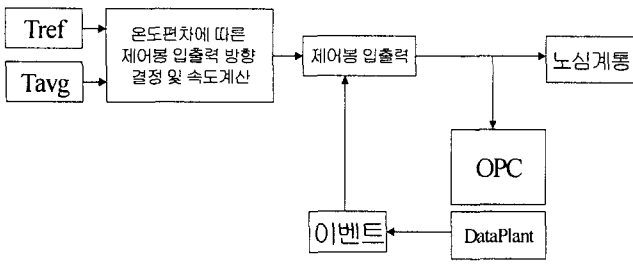


그림 5 데이터 흐름도

그림 5에서처럼 제어봉 제어계통의 변수들중에서 화면에 디스플레이 되어지는 값들은 OPC를 통하여 실시간으로 DataPlant로 입력되어지고, 다시 디스플레이 된 화면에서 어떠한 이벤트가 발생되면 그 이벤트가 OPC를 통하여 서버에 전달되어지고 그 전달된 값이 변하여 전체 시뮬레이터 혹은 제어봉 제어계통에 영향을 미치게 된다. 또한 제어봉 위치값은 노심계통으로 전달되어 원자로 내에서 반응을 일으키게 되며, 그로 인하여 원자로의 출력이 증감되어진다. 아래의 그림들은 화면에 디스플레이 되어지는 제어봉 제어계통의 그림이다.

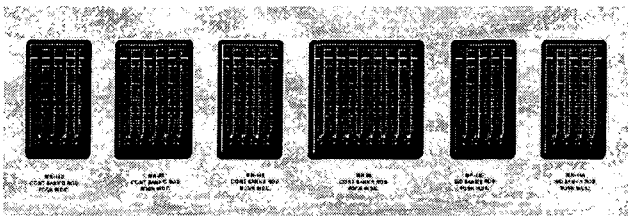


그림 6 제어봉 위치 표시기

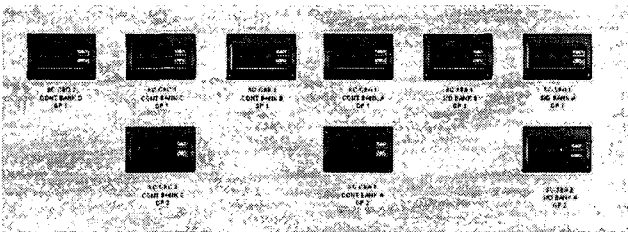


그림 7 스텝 카운터

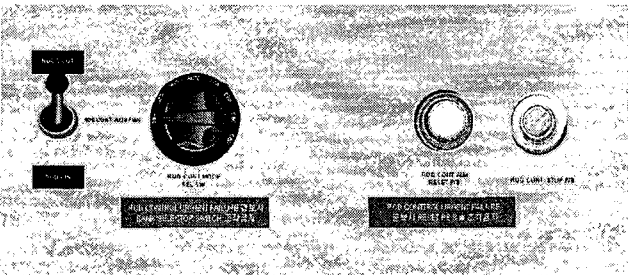


그림 8 선택스위치, In-Hold-Out 레버

시뮬레이터를 통하여 운전원들이 습득할 수 있는 것 중에 가장 중요한 것이 있다면 그것은 사고처리가 아닐까 생각한다. 임의로 사고와 똑같은 상황을 만들어서 그 상황에 운전원이 어떻게 행동해야 하는지를 연습할 수 있다. 여기서는 MalFunction을 사용하여 비 긴급고장(Non-Urgent Failure)과 긴급고장(Urgent Failure)을 발생시킴으로써 운전원이 사고에 대처할 수 있도록 한다는 목적을 가진다.

2.3 시뮬레이션 결과

2.2에서 언급한 것과 같이 제어봉 제어계통의 모델링 작업을 마친 후, 이 시스템이 실제 고리 1호기와 같은 결과가 나오는지 테스트를 하였다. 처음 시뮬레이터를 기동하면 원자로 100%출력으로 운전이 된다. 이때 터빈출력을 감소시키면 제어봉이 삽입되어지고 노심에서 원자로 반응이 일어남으로써 원자로 출력도 함께 감소하게 된다. 아래의 그림 9는 100% 출력상태에서 터빈 출력을 감소시켰을 때 Tref값이 떨어지고 그에 따라 나타나는 온도편차값으로 인하여 제어봉이 삽입되는 것을 나타낸 그래프이다.

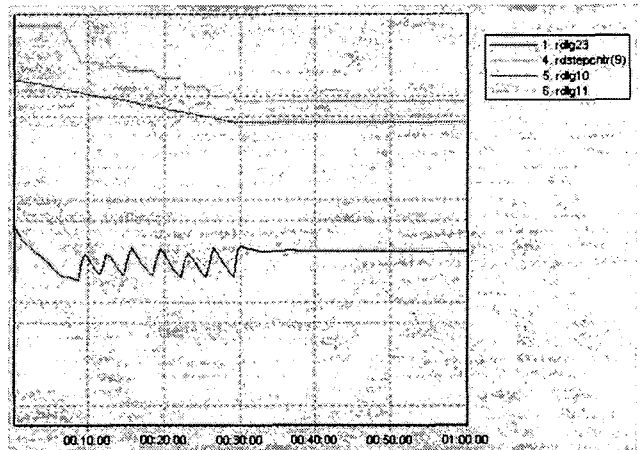


그림 9

위에서 본 그래프와 같이 터빈 출력이 감소됨에 따라서 결과적으로 제어봉이 삽입되는 것이 확인되었다. 아래의 그림 10은 터빈출력과 원자로 출력 제어봉의 위치를 각각 나타낸 그래프이다. 출력이 감소하다가 다시 출력이 일정하게 되면 제어봉 제어계통에서 쓰여지는 값들도 안정된 상태를 찾게 되어지고 계속 일정한 값들로 유지되어진다.

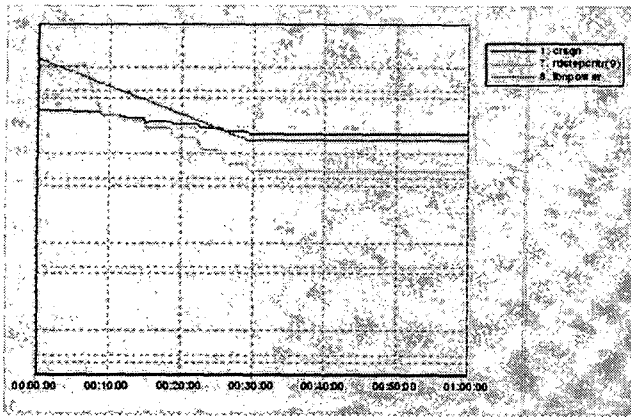


그림 10

3. 결 론

본 논문에서는 고리 1호기 원자력 발전소를 모델로 한 VR 시뮬레이터를 제작하고 그 일부인 제어봉 제어계통에 대하여 분석, 구현 및 결과에 대하여 기술하였다. 현재 고리 1호기를 그대로 모의하는 시뮬레이터가 없으나 이 연구를 통하여 고리 1호기 원자력 발전소 운전원 훈련용 VR 시뮬레이터를 개발하였다.

실제 발전소와 같은 하드웨어 패널이 아니지만 내부 반응 및 계산은 실제 고리1호기와 같이 작동되어지며 모니터속의 패널을 보고 운영해봄으로써 실제로 운전원이 운전능력을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 전력연구원 외 2사, “울진표준형 원전 시뮬레이터 개발”, 중간보고서, 2001. 9.
- [2] 전력연구원 외 2사, “원자력교육원 2호기 시뮬레이터 성능개선”, 최종보고서, 2001. 6.
- [3] 박신열, “가상현실을 이용한 발전소 시뮬레이터용 교육 훈련 시스템 설계”, 한국원자력학회, 2001. 4.
- [4] ANSI/ANS3.5 1998 Nuclear Power Plant Simulators for use in Operator Training and Licence Examination.