

# 원자력용 증기 발생기의 수위제어를 위한 2-자유도 제어기 적용 연구

A study on the Application of intelligent controller to the level control of the Steam Generator

김동화\*,이원규,\*조일인\*\*

\* 대전산업 대학교 제어계측 공학과(Tel:+82-42-630-0368;Fax:+82-42-630-0363;E-mail:kimdh@hyunam.tmut.ac.kr)

\*\* 국제전자 정밀(Tel:+82-0434-32-5784;hitel\_gij0605)

## Abstract

원자력 발전소용 증기발생기의 수위제어에 기존의 경우 주로 PI제어기를 이용하는데 반해 본 논문에서는 기타의 주급수유량에 대한 주증기 유량의 변화를 2-자유도 PID제어기를 이용해 제어 하는 문제를 연구하였다. 2-자유도 PID제어기의 파라미터  $\alpha \beta \gamma$ 를 외란에 대해 가인하도록 하고 설정치변화에 대해서는 기존의 PID파라미터가 부담하도록 함으로서 외란 및 설정치 모두에 대해 고찰한 결과 기존의 PI제어기에 비해 성능이 우수함을 나타내었다.

## 1. 서론

원자력 발전소의 증기발생기는 원자로의 열출력을 받아 증기를 발생시켜 터빈에 증기를 공급하기 위한 설비로서 터빈 부하 변화에 관계 없이 항상 그 수위를 일정하게 유지함으로써 증기를 안정하게 공급 할 수 있어야 한다.

원자력 발전소용 증기발생기의 수위제어는 원자력 발전소의 안전운전상 매우 중요한 요소이나 그 제어 특성상 쉽게 제어 할수 없는 문제점을 갖고 있어 많은 연구자들에 의해 연구되어 왔다.[1-4] 특히 저부하 운전시 적정수위를 유지하면서 안전하게 장상운전에 진입하는 것은 안전운전상 매우 중요 할 뿐만 아니라 적정 원자로의 출력에 추종하도록 유지하여야 하므로 운전시 숙련된 운전원의 운전기술이 필요하다.

이 때 운전원은 원자로의 트립이나 기타 증기 발생기의 운전조건인 급수 및 증기 유량 변화, 증기 발생기의 수위, 원자로 출력에 따른 급수 온도 변화 등을 고려하여 감시하여야 한다.

특히 최근의 원자력 발전소는 용량이 대형화하고 루프수도 많아져 보통 4개의 루프로 구성되는게 대부분이다. 이러한 대형 발전소의 운전은 한 개의 루프 특성이 다른 루프에 미치는 영향도 매우 커 증기 발생기의 안전상 매우 중요하다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 연구하기 위해 증기발생기의 수위 제어계통에 기존의 PI제어기와 신경망의 파라미터 학습 기능을 이용해 PI제어기의 파라미터를 튜닝하여 다른제어기와 비교하였다.

특성을 비교 한 결과 본 연구에서 제안한 기능이 우월함을 보이고 있다.

## 2. 기존의 제어 방법

증기 발생기의 수위제어는 그림 1과 같이 증기발생기의 수위변화오차 신호, 증기유속신호, 급수유속신호를 받아 주 급수펌프의 속도와 주 급수밸브의 개도를 조절함으로써 이루어진다.[5]

이와같은 증기발생기 수위제어에 사용되고 있는 제어기는 주로 PI제어기로 그 운전특성상 새로운 제어 알고리즘의 적용이 어려워 다른 프로세스에서 이용되고 있는 제어이론이나 응용방법에 대한 연구가 극히 제한적 일 수밖에 없다.

## 3. 증기발생기 2-자유도 PID제어

### 3.1 증기발생기의 모델링

본 증기발생기의 모델은 참고문헌 [6]에 제시한 방법을 이용하였는데 그림 2에서 증기발생기 수위변화에 영향을 미칠수 있는 변수들은 주급수유량, 증기유량, 1차측 냉매온도, 주급수온도와 같이 4개의 변수로 이들 변수의 영향에 의해 증기 발생기의 출력(수위)이 변한다.

이들 4개의 변수들은 서로 관련이 있어 어느 하나의 변수를 가변시키는 경우 다른 변수들을 독립적 또는 일정한 상수로 취급되고 가변된 변수만에 의해 제어할 수 있는 것은 아니나 참고문헌[6]에서는 각각의 변수 변화에 대한 출력의 특성을 고찰하기 위해 비간섭이 없는 것으로 가정하여 모델링을 하고 그결과에 의해 각각의 파라미터가 수위에 미치는 영향을 시뮬레이션 하였다.

따라서 위 시스템에서 각각의 입력변수와 출력변수와의 관계를 결정하는 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$LE(s) = [G1(s)FL(s), G2(s)SF(s), G3(s)CT(s), G4(s)FT(s)]$$

한편 이득식에 관련된 상수를 대입하면 리액터 출력 변화에 대한 각각의 전달함수 특성을 구할 수 있다.

### 3.2. 증기발생기 수위제어용 2-자유도 PID제어

종래의 원자력 발전소용 PI수위 제어기와 달리 본 논문에서는 주 급수 유량과 주 증기 급수 유량 변화에 대해 증기 발생기의 수위제어에 2자유도 PID제어기를 이용하였다.

모델링한 증기발생기 시스템은 다변수 시스템(4×1)으로 임.출력의 변수가 달라 지금까지 연구되고 있는 상태피드백이나 페어링 비간섭 기법을 적용 할수 없다.

따라서 다른 연구자들[6]은 각각의 이들 외란이 독립적으로 작용하는 것으로 보아 시스템을 모델링하고 제어기를 설계하였으나 본 연구에서는 이들 입력 변수의 특성을 2-자유도 PID제어기의 입력으로 사용하였다.

그림에서 주 급수유량, 증기유량, 1차냉매 온도, 주 급수온도에 따라 각 변수는 서로 관계가 있어 영향을 미치게 되나 이러한 영향을 실제적으로 계산하는 것은 불가능하다. 따라서 지금까지의 제어는 이러한 영향을 고려하지 않고 단일 입력이 각각 존재하는 것으로 보고 제어기를 구성하였다.

본 연구에서는 실제의 제어 계통에 맞는 제어기를 설계하기 위해 수

위에 가장 크게 영향을 미칠것으로 기대되는 주 증기 유량과 제어기의 출력신호를 받아 이들의 차에서 생기는 오차를 감소 시키도록 2-자유도 PID제어기의 입력 파라미터를 튜닝하였다.

그림 3은 기존의 PI제어기를 증기 발생기 수위제어 계통에 적용한 경우 원자로 출력을 계단상으로 증가 시키면서 주 급수 유량, 주 증기 변화상태, 증기 발생기 수위변화를 나타낸 것으로 계단상 변화시점에서 많은 진동이 발생하여 원활한 제어가 될 수 없음을 알 수 있다.

한편 그림 4은 기존의 PI제어기 대신 2자유도 PID 제어기를 증기 발생기 수위제어 계통에 적용 한 경우 같은 방법으로 원자로 출력을 계단상으로 증가 시키면서 주 급수 유량, 주 증기 변화상태, 증기 발생기 수위변화를 나타낸 것으로 그림 2.27에 비해 매우 안정된 제어결과를 보이고 이있어 2-자유도 PID 제어기의 성능이 우수함을 알 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 기존의 PI제어기만을 이용해 증기 발생기의 수위를 제어하던 것을 증기 발생기의 주 급수유량과 주 증기 유량의 변화에 따른 특성을 2-자유도 PID제어기의 파라미터 라메타  $\alpha \beta \gamma$  튜닝하여 적용함으로써 종래의 방법에 비해 우수한 제어방법을 제안 하였다. 시뮬레이션 결과 그 제어 특성이 우수함이 입증되고 있다.

#### (참고 문헌)

- (1) Zhao Yangping & Gao Huahun, "Analysis of a LOFT Atws event for PWR using the Autogressive model", IFAC, PP.73-80,1986.
- (2) Takshi & etc, "Application of fuzzy logic control system for reactor feed-water control", Fuzzy Sets and Systems, Vol.74PP.61-72,1995.
- (3) Zhichao Guo & etc, "Nuclear power plant performance study by using neural network", IEEE Transation on nuclear science Vol.39, No.4, PP.915-918,1992.
- (4) John G. Williams, "Intelligent control in safety systems", IEEE Transation on nuclear science Vol.40, No.6, PP.2040-2044,1993.
- (5) A. Hoeld, "Atheoretical model for the calculation of large transients in nuclear natural circulation U-tube steam generators", Nuclear engineering and design Vol.47, PP.1-23,1978.
- (6) 박기용, "증기 발생기 수위제어를 위한 퍼지제어 학습 시스템 개발에 관한 연구", 한국과학기술원 박사학위논문, 1996.

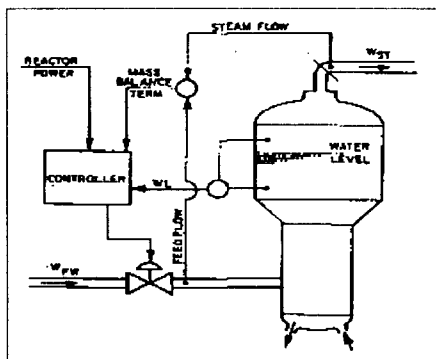


그림 1. 증기 발생기 수위제어 계통  
Fig 1. Level control configuration of the steam generator

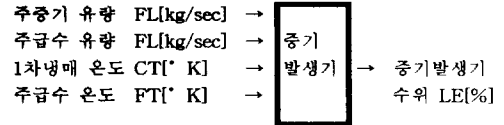


그림 2. 증기 발생기의 수위변화에 미치는 변수  
Fig 2. Variables of the steam generator

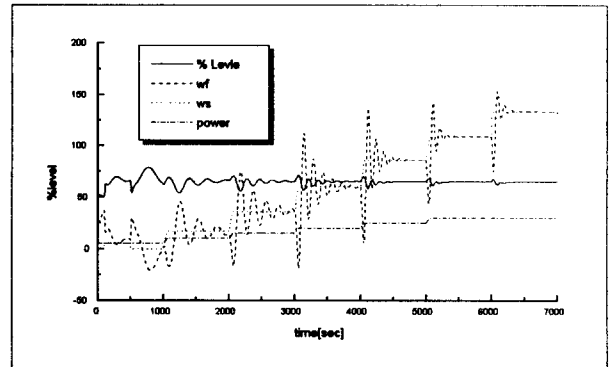


그림 3. 기존의 PI제어기 이용한 증기 발생기 수위 제어 결과  
Fig 3. Resulting level of control of steam generator using the conventional PI controller

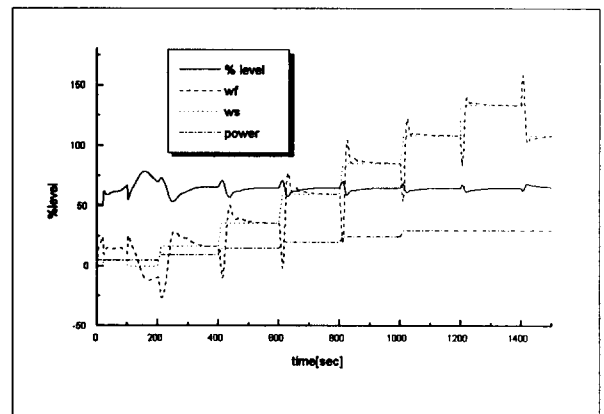


그림 4. 2-자유도를 적용한 경우 증기발생기 수위제어 변화  
Fig4 Level variation of the steam generator using 2-DOF

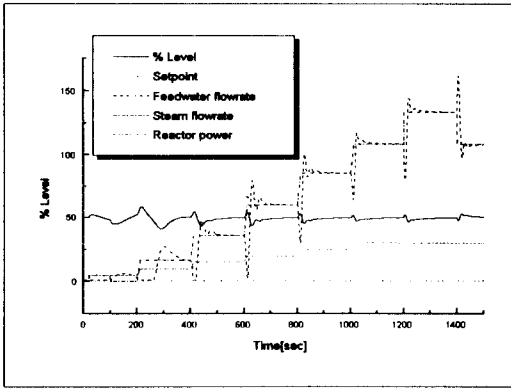


그림 5. 설정치 변화에 대한 2-자유도 PID제어기  
수위 제어 결과

Fig 5. Resulting level to the setpoint  
by the 2-DOF PID controller

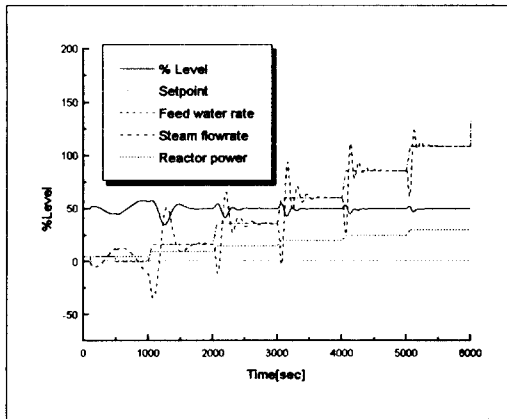


그림 6. 설정치 변화에 대한 2-자유도 PID제어기의  
수위 제어 결과

Fig 6. Resulting level to the setpoint  
by the 2-DOF PID controller