

원전 증기발생기 수위제어를 위한 MPC 제어기 개발

The development of a MPC controller for water level control in the steam generator of a nuclear power plant

°손 덕 현*, 한 진 욱**, 이 환섭***, 이 창 구****

- * 전북대학교 제어계측공학과(Tel : 063-272-1973; E-mail:macho@greenwood.chonbuk.ac.kr)
- ** 전북대학교 전자공학과(Tel : 063-272-1973; E-mail:modesty73@hanmail.net)
- ***전북대학교 제어계측공학과(Tel : 063-272-1973; E-mail: bunny052@netian.com)
- ****전북대학교 제어계측공학과(Tel : 063-270-2476; E-mail:changgoo@moak.chonbuk.ac.kr)

Abstract : Generally, level control in the steam generator of a nuclear power plant is difficulty process control, because the low power operating can lead nonminimum phase characteristics(swell and shrink phenomenon) and flow measurement are unreliable and nonlinear characteristics. This paper presents a framework for solving this problem based on the constrained linear model predictive control and introduces the design of method for the level of the controller in the entire operating power of the steam generator, and compares with conventional PI controller

Keywords : steam generator, MPC(Model Predictive Control), level control, constrained systems

1. 서론

원자력 발전소의 증기발생기는 플랜트의 동 특성상 일반적으로 어려운 제어대상으로 알려져 왔다. 특히 저출력(20%) 운전시 발생하는 비선형, swell 현상과 shrink 현상에 의한 비최소위상특성, 제어입력인 급수유량의 물리적 제한조건 및 유량측정의 큰 오차등은 더욱 증기발생기 수위제어를 어렵게 한다. 이러한 제어상의 문제를 해결하기 위해 지금까지 fuzzy 제어기와 PI 제어기등을 이용한 연구가 많이 진행되었다. 그러나 기존의 연구는 단일 모델을 이용한 증기발생기 수위제어에 관한 연구에 치중함으로써 전출력구간에서의 증기발생기 수위제어를 하는데는 많은 한계를 드러내었다. 이에 본 논문에서는 저출력시 발생하는 이러한 제어상의 문제점을 해결하면서 원자력터빈의 power가 변함에 따라 전출력 구간에서도 적절한 증기발생기의 수위제어가 이루어지는 입출력 제한조건을 갖는 MPC 제어기를 설계하고 이를 현장에 사용되고 있는 PI 제어기와 비교함으로써 그 성능의 우수성을 입증하고자 한다.

- s : 라플라스 변수
- τ_1, τ_2 : 시정수
- T : 기계적 진동 시간
- G_1 : 물의 질량에 의한 영향
- G_2 : 급수유량 비율과 증기유량 비율에 의한 swell 현상과 shrink 현상의 크기
- G_3 : 기계적 진동 크기

표 1. power level 에 따른 증기발생기 모델계수

power level (%)	G_1	G_2	G_3	τ_1	τ_2	T
5	0.058	9.63	0.181	41.9	48.4	119.6
15	0.058	4.46	0.226	26.3	21.5	60.5
30	0.058	1.83	0.310	43.4	4.5	17.7
50	0.058	1.05	0.215	34.8	3.6	14.2
100	0.058	0.47	0.105	28.6	3.4	11.7

표1은 원자로 터빈의 power 변화에 따른 식(1)의 계수를 나타낸 것이다.

2. 본론

2.1 증기발생기의 모델링

증기발생기 동특성은 입력으로 급수유량비율 $u(s)$ 와 출력으로 증기발생기의 수위 $y(s)$, 그리고 측정가능한 외란 (증기유량비율) $v(s)$ 로 나타낼 수 있다. 이에 Irving 원자력 발전소의 증기발생기 모델을 급수유량비율과 증기유량비율의 단위계단변화 입력에 의한 증기발생기의 수위응답을 식(1)과 같은 4차의 Laplace 함수의 모델을 제안 하였다..

$$y(s) = \frac{G_1}{s} [u(s) - v(s)] - \frac{G_2}{1 + \tau_2 s} [u(s) - v(s)] + \frac{G_3}{\tau_1^{-2} + 4\pi^2 T^{-2} + 2\tau_1^{-1} s + s^2} u(s) \quad (1)$$

식(1)의 물리적 의미는 다음과 같다.

첫 번째 항은 증기발생기안의 실제의 수위를 나타낸다.

두 번째 항은 swell 현상과 shrink 현상에 의한 증기발생기 수위의 영향을 나타낸다. swell 현상은 증기유량이 커지면 증기발생기안의 증기압력이 낮아져 순간적인 물의 팽창현상 때문에 증기발