

## 동력용보이라의 드람수위모호조종에 대한 연구

강지연, 안웅남

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《인민경제의 현대화, 정보화실현의 전략적목표는 모든 생산공정을 자동화, 지능화하고 공장, 기업소들을 무인화하는것입니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화 보고》 단행본 48페이지)

보이라에서 드람의 수위는 보이라의 정상운영에서 중요한 공정량으로서 보이라운영의 전기간 반드시 일정한 범위안에서 정확히 유지해주어야 한다.

보이라드람의 수위가 변하는 기본원인은 급수량과 증발량사이에 물질균형이 파괴되는데 있다.

물질균형이 이루어진 상태에서 증발관에서 발생하는 증기량이 많아지면 물증기혼합물의 체적비가 커지면서 드람의 수위가 높아진다. 반대로 증기량이 적어지면 물증기혼합물의 체적비가 작아지면서 드람의 수위가 낮아진다.

이와 같은 현상을 부풀음이라고 하는데 동력용보이라에서 일반적으로 나타나는 부풀음현상은 드람수위조종에서 반드시 고려해야 하는 중요한 문제이다.

선행연구[2]에서는 부풀음현상이 나타날 때 드람수위오차와 오차변화속도를 PD조종기로 결합하여 드람수위의 설정값을 변화시키는 방식으로 이 현상을 극복하기 위한 방안을 제기하였으며 선행연구[1]에서는 강화학습모호조종수법에 의하여 보이라드람수위조종의 성능을 개선하기 위한 한가지 방안을 제기하였다.

본문에서는 동력용보이라의 드람수위조종에서 제기되는 부풀음현상을 극복하기 위하여 드람수위조종에서 드람수위정보와 부풀음현상의 세기를 반영하는 증기발생량(증기흐름량)정보를 리용하여 모호조종규칙을 작성하고 모호론리조종에 의하여 보이라드람수위조종을 실현하는 한가지 방법을 제기하였다.

### 1. 모호론리에 의한 보이라드람수위조절기설계

보이라의 드람에서 증기발생량이 변할 때 드람안의 물-증기혼합물속에 물-증기의 체적비가 변하게 되는데 결과 드람수위가 변하게 된다. 이것은 실지 드람안의 물량의 변화를 의미하는것이 아니다.

따라서 증기발생량이 변할 때의 보이라드람수위신호는 거짓신호이다.

그러므로 이 준위신호만을 반결합하여 드람수위를 조종하면 보이라의 운영에 큰 영향을 미치게 된다.

보이라드람수위조종에서 드람수위를 변화시키는 두가지 인자인 급수량과 증발량중에서 증발량은 외적요인인 부하변화에 의하여 발생하므로 조작량으로는 급수량이 되고 증발량은 외란으로 된다.

우선 조작량인 급수류량의 변화에 대한 드람수위의 응답특성을 고찰하자.

급수류량( $W$ )과 드람수위( $H$ )사이의 전달함수는 다음과 같은 형식으로 표현되며 응답 특성[2]은 그림 1과 같다.

$$G(s) = G_1(s) + G_2(s) = \frac{1}{T_1 s} - \frac{K_1}{T_2 s + 1} = \frac{(T_2 - K_1 T_1)s + 1}{T_1(T_2 s + 1)s} \quad (1)$$

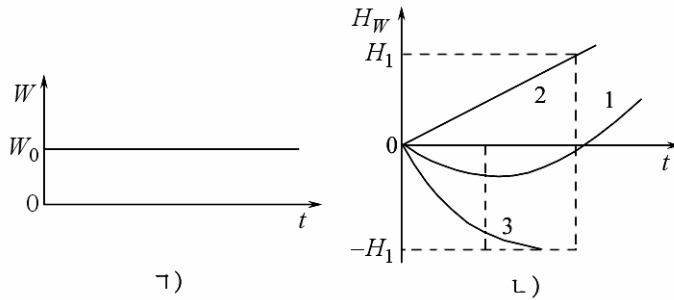


그림 1. 급수류량변화에 대한 드람수위의 응답특성

1) 급수류량변화곡선, 2) 드람수위의 응답특성

1—드람수위응답특성곡선, 2—식 (1)에서 첫항의 응답곡선, 3—식 (1)에서 두번째 항의 응답곡선

그림 1로부터 알수 있는바와 같이 급수류량이 변할 때 드람의 수위는 초기에는 역응답특성을 나타내다가 일정한 시간이 지나야 급수류량의 증가로 하여 변하여야 할 방향으로 변한다.

다음으로 증발량( $D$ )과 드람수위( $H$ )사이의 전달함수는 식 (2)와 같은 형식으로 변화되며 응답특성(외란공정) [2]은 그림 2와 같다.

$$G(s) = \frac{K_2}{T_3 s + 1} - \frac{1}{T_6 s} = \frac{(K_2 T_6 - T_3)s - 1}{T_6 s(T_3 s + 1)} \quad (2)$$

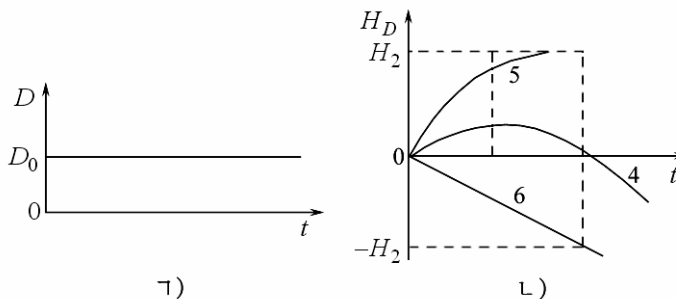


그림 2. 증발량변화에 대한 수위의 응답특성

1) 증발량변화곡선, 2) 드람수위의 응답특성

4—드람수위응답특성곡선, 5—식 (2)에서 첫항의 응답곡선, 6—식 (2)에서 두번째 항의 응답곡선

그림 2로부터 알수 있는바와 같이 증발량과 드람수위의 응답특성도 부풀음현상에 의하여 초기에 역응답특성을 나타낸다는것을 알수 있다.

이와 같은 역응답특성들은 조종성능을 저하시키는 중요한 요인으로 된다.

## 2. 모호론리조종에 의한 보이라드람수위조종

보이라드람수위조종에서 나타나는 부풀음현상을 극복하기 위하여 드람수위조종을 위한 정보로서 드람수위와 함께 드람에서 발생하는 증기발생량(증기흐름량)을 결합하여 공정조작자의 경험을 모호조종규칙에 반영하여 모호조종기를 설계한다.

모호조종기는 드람수위편차  $\Delta H$  ( $H - H_s$ ,  $H$ : 드람의 수위,  $H_s$ : 드람수위설정값)와 증기흐름량  $D$ 를 입력으로 하여 급수발브의 열림도  $x$ 를 출력한다. 모호조종기를 리용한 드람수위조종체계블록도도는 그림 3과 같다.

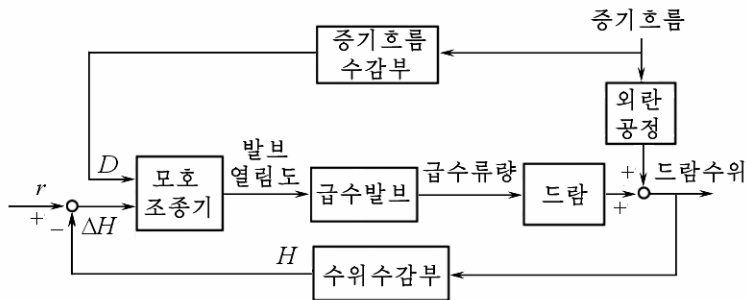


그림 3. 모호조종기를 리용한 드람수위조종체계블록도

그림 3의 조종체계는 전통적인 조종리론에서의 복합조종방식(정결합/반결합)과 유사하다고 볼수 있다. 다만 전통적인 조종리론에서 정결합/반결합조종기의 기능을 모호조종기가 수행한다.

수위편차  $\Delta H$ 는 3각형성원함수를 리용하여 다음과 같은 5개의 모호모임({NB(부로 크다), NM(부로 중간이다), ZO(영), PM(정으로 중간이다), PB(정으로 크다)})으로 분할한다. (그림 4)

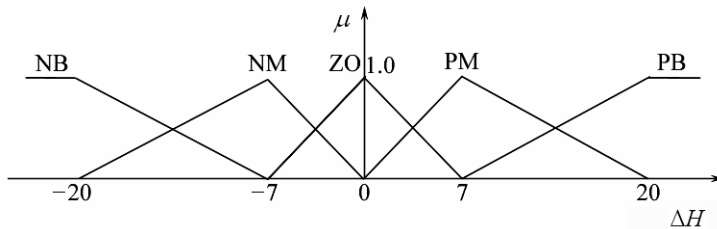


그림 4. 수위편차의 모호성원함수

증기흐름량  $D$ 도 3각형성원함수를 리용하여 다음과 같은 3개의 모호모임({S(작다), M(중간이다), P(크다)})으로 분할한다.(그림 5)

급수발브의 열림도  $x$ 는 단점성원함수를 리용하여 다음과 같은 7개의 모호모임({VS(매우 작다), S(작다), MS(약간 작다), M(중간이다), MB(약간 크다), B(크다), VB(매우 크다)})으로 분할한다.(그림 6)

이로부터 급수발브의 열림도를 결정하는 가능한 모호조종규칙은  $5 \times 3 = 15$ 개로서 다

음의 표와 같다.

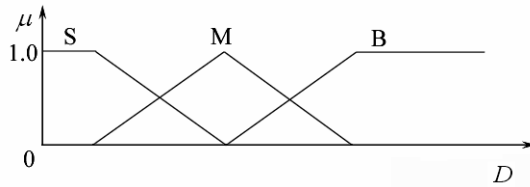


그림 5. 증기흐름량의 모호성원함수

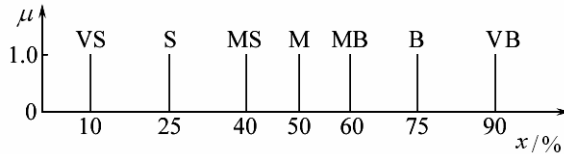


그림 6. 발브열림도(x)의 모호성원함수

표의 모호조종규칙을 리용하여 모호추론을 진행한 후 비모호화는 무게중심법으로 진행한다.

$$x = \frac{\sum_{k=1}^{15} w_k x_k}{\sum_{k=1}^{15} w_k}, \quad k = \overline{1, 15} \quad (3)$$

표. 급수발브의 열림도(x)의 모호조종규칙					
D	$\Delta H$				
	NB	NM	ZO	PM	PB
S	MB	M	M	M	MS
M	B	MB	M	MS	S
B	VB	B	MB	M	MB

여기서  $x_k$  는  $k$  째 조종규칙에서 출력성원함수의 파라미터,  $w_k$  는  $k$  째 조종규칙의 적합도로서  $k$  째 조종규칙이 드람수위편차의  $i$  째 모호모임과 증기흐름량의  $j$  째 모호모임에 의하여 생성된다고 하면 모호조종기의 입력  $(\Delta h, d)$  에 대하여 다음과 같이 계산된다.

$$w_k = \min\{\mu_{\Delta H_i}(\Delta h), \mu_{D_j}(d)\} \quad (4)$$

여기서  $\mu_{\Delta H_i}(\Delta h)$  와  $\mu_{D_j}(d)$  는 각각 모호조종기의 입력값  $\Delta h$  와  $d$  에 대한 드람수위편차와 증기흐름량의 모호성원함수의 성원도이다.

### 3. 현장실험 및 결과분석

식 (4)에 의하여 급수발브의 열림도를 계산한 후의 과제는 이 량만큼 급수발브의 열림도를 달성하는것이다.

우에서 서술한 조종연산은 수자식조종기에 의해서 실현된다. 현재 현장의 급수발브는 3상비동기전동기를 리용하여 발브의 열림도를 조절하는 전동발브로서 전동기의 회전방향과 가동시간에 의하여 발브의 열림도를 변화시킨다.

따라서 급수량조절을 위하여 실지로 필요한것은 전동발브의 3상비동기전동기를 어느 방향으로 몇시간동안 가동시키겠는가 하는것이다. 3상비동기전동기의 정역회전은 조종장치에 연결된 2개의 중간계전기와 그에 연결된 2개의 교류접촉기에 의하여 실현할수 있다.

이로부터 전동기의 가동시간과 회전방향을 다음과 같이 결정한다.

$x(k) > x(k-1)$  이면  $(x(k) - x(k-1))T$  시간동안 급수량증가제전기가동

$x(k) < x(k-1)$  이면  $(x(k-1) - x(k))T$  시간동안 급수

량감소제전기가동

여기서  $x(k)$  는  $k$  째 조종주기에 식 (1)에 의하여 계산되는 발브의 열림도이며  $T$  는 변축의 최대행정을 달성하는데 필요한 시간(열림도를 0%로부터 100%로 증가시키는데 필요한 시간)으로서  $T = 4s$  이다.

제안한 방법과 종전의 상사식조종기(PI조종기)를 비교한 수위응답곡선은 그림 7과 같다.

그림 7로부터 알수 있는바와 같이 제안한 방법이 선행한 전통적인 조종(PI조종)에 비하여 조종성능을 현저히 개선한다는것을 알수 있다.

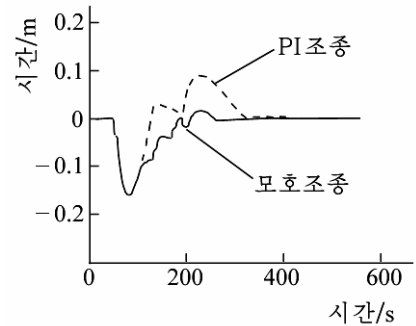


그림 7. 수위응답곡선

## 맺 는 말

동력용보이라의 드람수위조종에서 제기되는 부풀음현상을 극복하기 위한 모호조종규칙을 작성하고 모호조종을 진행함으로써 보이라드람수위조종의 조종성능을 현저히 개선하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Cori et al.; Automatica, 20, 2, 163, 2011.
- [2] A. Abdenmour et al.; Electrical Power and Energy Systems, 22, 381, 2015.

주체108(2019)년 2월 5일 원고접수

## A Study on Fuzzy Control of Power Boiler Drum Level

Kang Ji Yon, An Ung Nam

We proposed a control strategy to eliminate the effect of swell-shrink phenomena in drum on control performance. This control method uses 2-inputs 1-output fuzzy logic controller that drum level error and steam flow are inputs, and opening degree of water-supply valve is output, to improve the control performance of drum level.

Key words: boiler drum level control, fuzzy control