

가열로온도조종체계의 구름비간섭화방법에 대한 연구

김성미, 박은순

선행연구에서는 대상을 전달함수행렬로 표시하고 여기에 정모형과 역모형보상기를 첨부하여 닫힌체계의 전달함수행렬을 대각화하여 비간섭화를 실현한 방법[1]과 모호모형을 리용하여 비간섭화를 실현한 방법[1, 2]을 제기하였는데 이 방법들은 대상이 불확정성을 가지는 모형에 대하여 비간섭화를 원만히 실현하지 못하는 부족점을 가지고있다.

론문에서는 대상의 구름모형에 의하여 매 출력에 대한 간섭량을 예측하고 역체계의 구름모형에 기초하여 간섭량을 보상함으로써 모든 출력에 대한 비간섭화를 실현하는 예측보상형비간섭화방법을 제안하고 가열로조종체계에 도입하여 효과성을 검증하였다.

1. 구름모형에 의한 비간섭화방법

그림 1과 같은 n 입력 n 출력간섭체계에서 매개 입력은 각각 서로 다른 크기를 가지고 모든 출력에 작용한다. 여기서 대응하는 입력과 출력사이의 작용을 정작용, 그밖의 입출력작용을 간섭작용으로 표현한다.

보통 이러한 작용현상을 수학적방법으로 정확히 모형화하기는 힘들며 주어진 대상이 복잡하면 할수록 그것을 묘사하고 처리하는 수학적도구는 한계를 가진다.

매개 입력과 출력사이의 작용을 각각 하나의 구름모형으로 표현하면 전체 체계는 n^2 개의 1입력1출력부분체계들의 묶음으로 구성된다.

론문에서는 1입력1출력 퍼염동적체계에 대한 T-S비대칭삼각형구름모형을 다음과 같이 정의하고 대상의 모형동정에 리용한다.

$$L^l: \text{if } y(k-1) \text{ is } B_1^l \text{ and } y(k-2) \text{ is } B_2^l \text{ and } \dots \text{ and } y(k-d) \text{ is } B_d^l \text{ and } \\ u(k-1) \text{ is } A_1^l \text{ and } u(k-2) \text{ is } A_2^l \text{ and } \dots \text{ and } u(k-p) \text{ is } A_p^l$$

$$\text{then } y^l(k) = a_0^l + \sum_{i=1}^d a_i^l \cdot y(k-i) + \dots + \sum_{j=1}^p a_{d+j}^l \cdot u(k-j)$$

여기서 L^l 은 l 번째 규칙이다. 그리고 $B_i^l, A_j^l (i=1, \dots, d, j=1, \dots, p)$ 들은 각각 대응하는 비선형삼각형성원구름을 가지는 삼각형구름모형표시이고 $u(k)$ 는 k 시각의 대상의 입력, $y(k)$ 는 k 시각에서의 대상의 출력이다. 또한 a_0, a_1, \dots, a_{d+p} 들은 결론부파라미터들로서 일정한 정규분포에 따르는 우연량들이다.

이때 대상규칙 $L = \{L^l | l=1, 2, \dots, m\}, m=|L|$ 에 의한 추론결과는 다음과 같다.

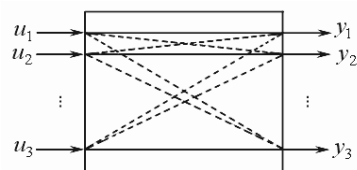


그림 1. n 입력 n 출력간섭체계

$$y(k) = \sum_{l=1}^m w^l \cdot y^l(k) \Big/ \sum_{l=1}^m w^l$$

여기서

$$w^l = \prod_{i=1}^d B_i^l(y(k-i)) \cdot \prod_{j=1}^p A_j^l(u(k-j)), \quad y^l(k) = a_0^l + \sum_{i=1}^d a_i^l \cdot y(k-i) + \cdots + \sum_{j=1}^p a_{d+j}^l \cdot u(k-j).$$

한편 대상의 역모형결정에 대하여 보기로 하자.

여기서는 대상의 완전한 역모형을 결정하는것이 아니라 대응하는 입력과 출력사이의 부분체계들에 대한 역모형들만을 결정한다. 그것은 비간섭화조종문제를 해결하기 위해서는 간섭모형 즉 대응하지 않는 입력과 출력사이의 역함수관계를 고찰할 필요가 없기때문이다.

1입력1출력부분체계의 역체계로서 T-S구름모형의 구조는 다음과 같다.

$$L^l: \text{if } y(k-1) \text{ is } B_1^l \text{ and } y(k-2) \text{ is } B_2^l \text{ and } \cdots \text{ and } y(k-d) \text{ is } B_d^l$$

$$\text{and } u(k-1) \text{ is } A_1^l \text{ and } \cdots \text{ and } u(k-c+1) \text{ is } A_{c-1}^l \text{ and}$$

$$u(k-c-1) \text{ is } A_{c+1}^l \text{ and } \cdots \text{ and } u(k-p) \text{ is } A_p^l$$

$$\text{then } u^l(k-c) = a_0^l + \sum_{i=1}^d a_i^l \cdot y(k-i) + \cdots + \sum_{j=1}^p a_{d+j}^l \cdot u(k-j)$$

역모형으로부터 비간섭입력량을 결정하기 위한 원리도를 그림 2에 보여주었다.

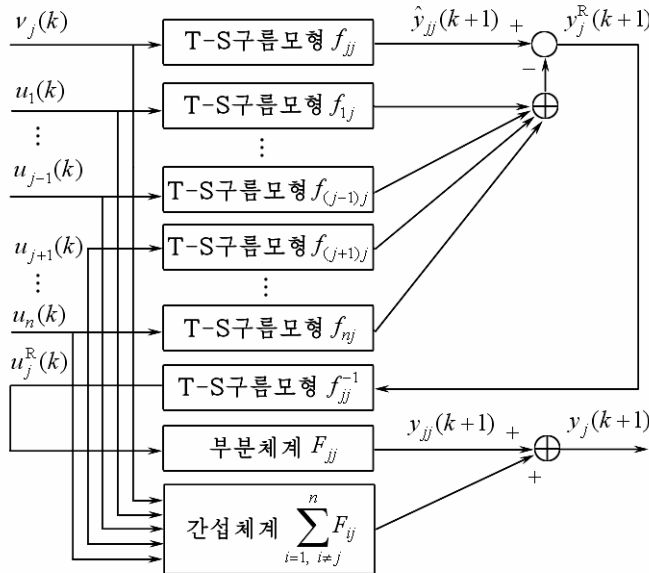


그림 2. 비간섭입력량의 결정

그림 2에서 $v_j(k)$ 는 k 시각에 결정되는 대상에 대한 j 번째 조종입력이며 $u_i(k)$ 는 k 시각에 가해지는 i 번째 입력이다. ($i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, n, i \neq j$) 그리고 $\hat{y}_{jj}(k+1)$ 은 j 번째 입력에 의한 모형의 j 번째 출력이고 $y_j^R(k+1)$ 은 비간섭목표량이다.

론문에서는 T-S구름모형들을 간단히 표시하기 위해 매 부분체계들을 f_{ij} 로 표시하고 이것의 역체계를 f_{ij}^{-1} 로 표시하였다. 따라서 비간섭목표량은 다음의 식으로 표시된다.

$$y_j^R(k+1) = \hat{y}_{jj}^R(k+1) - \sum_{i=1, i \neq j}^n f_{ij}(u_i(k)) = f_{jj}(v_j(k)) - \sum_{i=1, i \neq j}^n f_{ij}(u_i(k))$$

이 비간섭목표량에 f_{jj}^{-1} 을 적용하면 비간섭조종입력 $u_j^R(k)$ 가 얻어진다. 즉

$$u_j^R(k) = f_{jj}^{-1}(y_j^R(k+1)) = f_{jj}^{-1}(f_{jj}(v_j(k)) - \sum_{i=1, i \neq j}^n f_{ij}(u_i(k))).$$

2. 모의실험 및 결과분석

실험하려는 온도조종체계는 2입력2출력간섭체계이다.

우선 대상의 모형동정을 위한 계단응답렬을 얻는다. 이를 위해 계단신호 u_1 을 가하여 y_1, y_2 의 계단응답 $h_{11}(t), h_{12}(t)$ 를 측정한다. 이때 u_2 는 가하지 않는다.

같은 방법으로 u_2 에 해당하는 계단응답 $h_{12}(t), h_{22}(t)$ 를 측정한다.

매 출력에 대한 입력의 작용들은 각각 자기의 독립적인 경로를 따라 해당 출력에 도달하며 출력들은 그것들의 대수적합으로 표시된다고 가정한다.

이때 매 입출력관계는 비선형띠염시간지연체계로 설정하며 대상규칙은 다음과 같은 T-S비대칭삼각형구름모형으로 취한다.

$$\begin{aligned} L_{ij}^l: & \text{ if } y_j(k-d_j) \text{ is } B_{ij}^l \text{ and } u_i(k-\tau_{ij}) \text{ is } A_{ij}^l \\ & \text{ then } y_{ij}(k) = a_0 + a_1 y_j(k-d_j) + a_2 u_i(k-\tau_{ij}) \end{aligned}$$

여기서 $B_{ij}^l, A_{ij}^l (i=1, 2, j=1, 2, l=1, 2, \dots, m)$ 들은 각각 대응하는 비대칭삼각형성원구름을 가지는 삼각형구름모형표시이고 u_i 는 k 시각의 대상의 i 번째 입력, y_j 는 k 시각에 대상의 j 번째 출력이다. 그리고 대상규칙의 조건부는 2차원 x 조건구름을 이루며 결론부 파라미터 a_0, a_1, a_2 들에는 불확정성을 부여하지 않는다.

조건부변수 $y_j(k-d_j)$ 와 $u_i(k-\tau_{ij})$ 가 주어졌을 때 대상규칙 L_{ij} 에 의한 추론결과는 다음과 같다.

$$y_{ij}(k) = \sum_{l=1}^{m_{ij}} w_{ij}^l \cdot y_{ij}^l / \sum_{l=1}^{m_{ij}} w_{ij}^l$$

여기서 $y_{ij}(k) = a_0 + a_1 y_j(k-d_j) + a_2 u_i(k-\tau_{ij}), w_{ij}^l = B_{ij}^l(y_j(k-d_j)) \cdot A_{ij}^l(u_i(k-\tau_{ij}))$ 이다.

모의실험을 위하여 체계의 고유지연시간을 $d_1=1, d_2=1$ 로, 입력지연시간을 $\tau_{11}=1, \tau_{12}=2, \tau_{21}=2, \tau_{22}=1$ 로 하였다. 그리고 $B_{ij}^l, A_{ij}^l (i=1, 2, j=1, 2)$ 들의 구름분할수는 3으로 정하였으며 따라서 $l=9$ 이다.

따라서 대상에 대한 총 규칙수는 36개로 된다.

대상규칙모임 L_{11} 에 대해서만 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L_{11}^1: & \text{ if } y_1(k+\tau_{11}-d_1) \text{ is } S \text{ and } u_1(k) \text{ is } N \\ & \text{ then } y_1(k+\tau_{11}) = 10u_1(k) + 0.005y_1(k+\tau_{11}-d_1) + 4.3 \\ L_{11}^2: & \text{ if } y_1(k+\tau_{11}-d_1) \text{ is } M \text{ and } u_1(k) \text{ is } N \\ & \text{ then } y_1(k+\tau_{11}) = 10u_1(k) + 0.008y_1(k+\tau_{11}-d_1) - 6.344 \end{aligned}$$

- L_{11}^3 : if $y_1(k+\tau_{11}-d_1)$ is B and $u_1(k)$ is N
 then $y_1(k+\tau_{11})=10u_1(k)+0.01y_1(k+\tau_{11}-d_1)+1.537$
- L_{11}^4 : if $y_1(k+\tau_{11}-d_1)$ is S and $u_1(k)$ is Z
 then $y_1(k+\tau_{11})=15u_1(k)+0.005y_1(k+\tau_{11}-d_1)-2.740$
- L_{11}^5 : if $y_1(k+\tau_{11}-d_1)$ is M and $u_1(k)$ is Z
 then $y_1(k+\tau_{11})=15u_1(k)+0.008y_1(k+\tau_{11}-d_1)+1.343$
- L_{11}^6 : if $y_1(k+\tau_{11}-d_1)$ is B and $u_1(k)$ is Z
 then $y_1(k+\tau_{11})=15u_1(k)+0.01y_1(k+\tau_{11}-d_1)-5.274$
- L_{11}^7 : if $y_1(k+\tau_{11}-d_1)$ is S and $u_1(k)$ is P
 then $y_1(k+\tau_{11})=20u_1(k)+0.005y_1(k+\tau_{11}-d_1)+3.452$
- L_{11}^8 : if $y_1(k+\tau_{11}-d_1)$ is N and $u_1(k)$ is P
 then $y_1(k+\tau_{11})=20u_1(k)+0.008y_1(k+\tau_{11}-d_1)+5.157$
- L_{11}^9 : if $y_1(k+\tau_{11}-d_1)$ is B and $u_1(k)$ is P
 then $y_1(k+\tau_{11})=20u_1(k)+0.01y_1(k+\tau_{11}-d_1)-11.127$

위의 9개 구름규칙에 의해 첫번째 입력과 출력사이의 입출력관계가 표현된다.

매 출력의 초기온도는 모두 10°C 로 취하였으며 목표온도를 변화시키면서 실험을 진행하였다.

대상의 역체계에 대한 T-S비대칭삼각형구름모형은 대응하는 입력과 출력들에 대하여 작성되므로 부분모형개수는 2이고 매 부분모형은 대상의 정모형과 같이 각각 9개의 구름 규칙들로 구성되므로 역체계에 대한 구름규칙의 총수는 18이다.

따라서 비간섭조종을 위한 규칙수는 모두 54개로 된다.

가열로의 예측보상형비간섭조종체계를 구성하고 진행한 모의실험결과과는 그림 3과 같다.

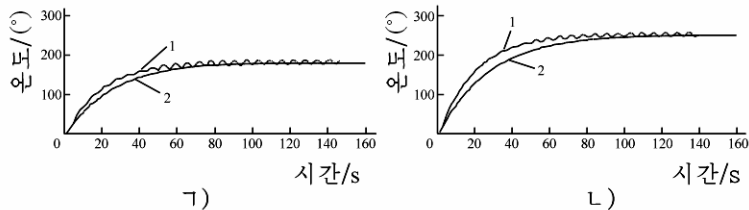


그림 3. 모의실험결과곡선

ㄱ) 설정온도가 180°C 일 때, ㄴ) 설정온도가 250°C 일 때; 1-선행한 방법[1], 2-제한한 방법

모의실험결과에서 보는바와 같이 비간섭조작을 하지 않은 경우 출력은 목표값을 중심으로 부단히 진동한다. 이것은 모호PID조종기가 출력에 가해지는 간섭량을 고려함이 없이 설계된것이기때문이다.

그러나 예측보상형비간섭화방법을 적용한 경우 출력에 가해지는 모든 간섭량들이 예측 및 보상되어 출력은 오직 대응하는 입력의 작용만을 받으며 따라서 비간섭화된 출력은 목표값근방에서 아주 안정하다. 다만 비간섭조작을 첨부한 결과 체계의 속응성이 떨어지는데 이 문제점은 비간섭조작을 처음부터 적용하지 않고 체계의 각 출력이 목표값에 일정한 범위까지 도달한 다음부터 적용하면 해소될수 있다.

맺는 말

대상의 구름모형에 의하여 매 출력에 대한 간섭량을 예측하고 역체계의 구름모형에 기초하여 간섭량을 보상함으로써 모든 출력에 대한 비간섭화를 실현하는 예측보상형비간섭화방법을 제안하고 가열로온도조종체계에 대한 모의실험을 통하여 그 효과성을 검증하였다.

참고 문헌

[1] 김일성종합대학학보(자연과학), 61, 2, 31, 주체104(2015).

[2] Tian Yongqing et al.; World Congress on Intellogent Control and Automation, 6, 10, 2008.

주체106(2017)년 8월 5일 원고접수

Study on Cloud Uncoupling Method of Temperature Control System of Heater

Kim Song Mi, Pak Un Sun

We proposed the predicted-complimentary uncoupling method that realizes uncoupling of every output by predicting interference of every output by cloud medel of the plant and compensating it based on cloud model of inverse-system and proved its effectivity by introducing this to the control system of the heater.

Key words: cloud model, uncoupling, temperature control