

일련의 상호연결된 연속시간 시스템의 비집중 모델기준 적응제어

(Decentralized Model Reference Adaptive Control of a Class of Interconnected Continuous Systems)

柳 鎭*, 金 成 洙*, 任 仁 誠*

(Joon Lyou, Sung Soo Kim and In Sung Yim)

要 約

본 논문에서는 여러 개의 단입력 단출력 부시스템들이 상호연결된 일련의 선형 연속시간 시스템에 대해 비집중 모델 기준 적응제어를 구현하는 방법이 제시되었다. 본 방식은 각 부시스템의 불확실성 뿐만 아니라 상호결합의 강도를 모르는 경우도 다룰 수 있다.

본 방식은 각 부시스템의 출력이 기준모델의 출력을 지수적으로 쫓아가도록 각 비집중 제어기의 게인 이득을 자동적으로 조정한다.

Abstract

This paper presents a decentralized model reference adaptive control scheme for an interconnected continuous linear system composed of a number of single input single output subsystems. The scheme can treat the unknown strength of interconnections as well as the uncertainty of subsystems. The scheme automatically adjusts the local feedback gains so that the output of each subsystem exponentially tracks that of the reference model.

I. 서 론

다수의 부시스템들이 상호연결되어 있는 복합(composite) 시스템을 다루는데 있어 각 부시스템마다 자신에 속한 정보만을 사용하여 제어기를 구성하는 비집중 방식이 각광을 받아 왔다.¹⁾ 한편 시스템 파라미터가 불확실한 경우는 비집중 적응 방식으로 다룰 수 있을 것이다.²⁾

그동안 비집중 적응제어에 대한 연구³⁻⁵⁾는 먼저 각 부시스템을 독립적으로 보고 불확실한 각 부시스템의 제어를 위하여 기존의 적응기법을 적용한 뒤, 부시스

템들이 상호연결되어 있다면 각 독립적인 폐루프 시스템의 안정성이 깨지지 않도록 하는 상호간섭의 허용범위를 설정하곤 하였다. 따라서 상호간섭의 상한치에 관하여 전체 시스템의 안정을 보장하는 충분조건을 제시하는 것으로 그쳤다.

본 논문에서는 여러 개의 단입력 단출력 연속시간 시스템들이 상호연결되어 있고 각 부시스템의 동특성 뿐만 아니라 상호결합 형태에도 불확실성이 존재하는 일련의 복합시스템에 대해 기준모델을 추종하는 문제가 다루어졌다. 상태추정을 피하고 그러나 상태공간 기법을 이용하기 위하여 시스템내의 상태변수들을 출력을 여파한(filtering) 신호로 규정하였고, Lyapunov 설계^{6,7)}에 입각하여 비집중 모델기준 적응제어기(DM-RAC)를 설계하는 방법을 제시하였다. 그리고 본 DM-RAC가 임의의 상호결합 강도에 대해서도 각 부시스템

*正會員, 忠南大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chungnam Nat'l Univ.)
接受日字 : 1987年 3月 10日

의 안정도를 증가시켜 나감으로써 이들의 영향을 제압하고 전체 시스템의 안정을 도모할 수 있음을 보였다. 아울러 제안된 방법의 유용성을 보이기 위하여 컴퓨터 모사를 통한 수치 예가 제시되었다.

II. 문제기술

다음과 같이 전달함수 형태로 표현되는 상호연결된 연속시간 시스템을 생각하자.

$$F_i(s) Y_i(s) = G_i(s) U_i(s) + \sum_{j=1, j \neq i}^N F_{ij}(s) Y_j(s) \quad (1)$$

i = 1, 2, ..., N

여기서 U_i 와 Y_i 는 각각 i 번째 부시스템의 단입력, 단출력을 나타내고, s 의 다항식 $F_i(s)$, $G_i(s)$ 및 $F_{ij}(s)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} F_i(s) &= s^{n_i} + f_1^i s^{n_i-1} + \dots + f_{n_i}^i \\ G_i(s) &= g_1^i s^{m_i} + g_2^i s^{m_i-1} + \dots + g_{m_i}^i ; g_1^i \neq 0 \\ F_{ij}(s) &= f_{1,ij}^i s^{n_{ij}} + f_{2,ij}^i s^{n_{ij}-1} + \dots + f_{n_{ij}}^i \end{aligned} \quad (1.a)$$

시스템 (1)에 다음과 같은 가정을 한다.

- (i) U_i 와 Y_i 는 i 번째 부시스템에서만 측정 가능하다.
- (ii) 차원변수 n_i 와 m_i 는 정확하게 알려져 있으며 상대차수(relative order) $n_i^* = n_i - m_i$ 는 1이다.
- (iii) $F_i(s)$, $G_i(s)$ 및 $F_{ij}(s)$ 의 계수들의 값은 알려져 있지 않다.
- (iv) $F_i(s)$ 와 $G_i(s)$ 는 서로 소(coprime)이고, $G_i(s)$ 는 안정한 다항식이다.
- (v) g_1^i 의 부호는 알려져 있다. 일관성을 잃지 않고 g_1^i 의 부호를 양이라 하자.

이제 문제는 위의 가정 아래서 시스템 (1)이 원하는 특성을 갖는 기준모델(편의상 이후에 주어질 것임)을 추종하도록 비집중 적응제어를 결정하는 일이다. 이를 위하여 DMRAC를 설계하는 방법을 제시하고, 제어기를 포함한 시스템과 기준모델의 차로 규정되는 오차 시스템이 지수적으로 안정함을 보여 주기로 한다.

III. DMRAC의 설계

$(n_i - 1)$ 차의 임의의 안정한 다항식 $R_i(s)$ 를 아래와 같이 선정하자.

$$R_i(s) = s^{n_i-1} + r_1^i s^{n_i-2} + \dots + r_{n_i-1}^i \quad (2)$$

식 (1)을 $R_i(s)$ 로 나누고 각 항을 적절히 정의하여 쓰면, 식 (1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다(부록 A 참조).

$$sY_i(s) = a_i^T Y_i(s) + \bar{a}_i^T V_i(s) + b_i^T \{U_i(s) + \bar{b}_i^T W_i(s)\} + \sum_{j=1, j \neq i}^N a_{ij}^T Z_{ij}(s), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (3)$$

참고로 $V_i(s)$ 와 $W_i(s)$ 의 Laplace 역변환 $v_i(t)$ 및 $w_i(t)$ 는 부록 A의 식(A5)로 주어지는 상태변수 여과기(state variable filter; SVF)를 거쳐 나온 보조신호들이다.

상태벡터를 $x_i^T = [y_i, v_i^T]$ 로 규정하여, 식(3)은 다음과 같은 상태방정식으로 변환된다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= A_i x_i + b_i^T c_i (u_i + \bar{b}_i^T w_i) \\ &\quad + \sum_{j=1, j \neq i}^N c_{ij} a_{ij}^T z_{ij} \\ y_i &= c_i^T x_i, \quad i=1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 A_i 와 c_i 는 아래와 같이 주어진다.

$$A_i = \begin{bmatrix} a_i^T & & \\ 1 & -r_i^T & \\ 0 & 1 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad c_i = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$a_i^T = [a_i^1, \bar{a}_i^T] \quad (4.a)$$

이에 대응하여 원하는 특성을 지닌 기준모델을 다음과 같이 선정하자.

$$\begin{aligned} \dot{x}_{iM} &= A_{iM} x_{iM} + c_{iM} u_{iM} \\ y_{iM} &= c_{iM}^T x_{iM}, \quad i=1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 u_{iM} 은 기준입력이고, A_{iM} 은 (4.a)의 A_i 와 같은 구조를 갖도록 한다.

$$A_{iM} = \begin{bmatrix} a_{iM}^T & & \\ 1 & -r_i^T & \\ 0 & 1 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.a)$$

식(5.a)에서 a_{iM} 은 A_{iM} 의 고유치가 원하는 위치에 배치되도록 정한다(부록 B 참조).

이제 (4)의 y_i 가 (5)의 y_{iM} 을 가능하면 빨리(지수적으로) 따라가도록 하기 위하여, Lyapunov 설계법에^{6,7)}에 입각한 DMRAC를 제안한다.

$$u_i = -[k_1^T(t) e_i + k_2^T(t) w_i + k_3(t) u_{iM}] \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{k}_{11} &= \exp(2\alpha_i t) \Gamma_{i1} e_i^T P_i c_i e_i \\ \dot{k}_{12} &= \exp(2\alpha_i t) \Gamma_{i2} e_i^T P_i c_i w_i \\ \dot{k}_{13} &= \exp(2\alpha_i t) \Gamma_{i3} e_i^T P_i c_i u_{iM} \\ &\quad i=1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 e_i 는 $e_i = x_i - x_{iM}$ 으로 정의되는 상태 오차벡터이고, P_i 는 임의의 대칭이며(symmetric) positive definite(이하 약하여 spd라함)한 행렬 Q_i 에 대하여 다음 식을 만족하는 spd한 유일한 해이다.

$$A_{iM}P_i + P_i A_{iM} + 2\alpha_i P_i = -Q_i \quad (7.a)$$

식 (7.a)에서 양의 실수 α_i 는 A_{iM} 의 모든 고유치의 실수부가 $-\alpha_i$ 보다 작도록 선정해야 하며, 식 (7)의 Γ_{i1} , Γ_{i2} 및 Γ_{i3} 는 가중(weighting) 행렬로서 spd하게 선정한다.

본 비집중 적응제어 시스템은 그림 1과 같이 구성된다.

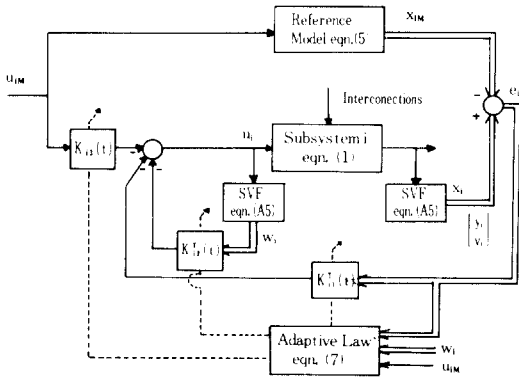


그림 1. 본 비집중 적응제어 시스템의 구조
Fig. 1. Structure of the decentralized adaptive control system.

IV. 안정해석

(4)와 (6)으로 구성되는 케루프 시스템이 (5)의 기준모델로부터 벗어나는 정도를 나타내는 오차방정식은 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} \dot{e}_i &= A_{iM}e_i + c_i [(a_i - a_{iM} - b_i)k_{i1}(t)]^T e_i \\ &\quad + b_i' c_i [(\bar{b}_i - k_{i2}(t))^T w_i - b_i'] c_i \left[\frac{1}{b_i'} + k_{i3}(t) \right] u_{iM} \\ &\quad + c_i z_i \\ z_i &= (a_i - a_{iM})^T x_{iM} + \sum_{j=1}^N a_{ij} z_j \\ i &= 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)로 주어지는 오차시스템의 지수적 안정성은 다음 정리에 의해서 보장된다.

(정리1) II 장에 기술한 (i)-(v)의 가정아래서 형성된 오차시스템 (8)은 지수적으로 안정하다. 즉 $e_i(t)$, $i=1, 2, \dots, N$ 은 시간이 경과함에 따라 지수적으로 0에 수렴한다.

(증명) Lyapunov 함수를 다음과 같이 2차(quadratic) 형태로 선정하자.^{14, 21}

$$\begin{aligned} V(e_i, k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}, i=1, 2, \dots, N) &= \sum_{i=1}^N \{ \exp(\alpha_i t) e_i^T P_i e_i \exp(\alpha_i t) \\ &\quad + \frac{1}{b_i'} (a_i - a_{iM} - b_i) k_{i1} + \rho_i P_i c_i \}^T \Gamma_{i1}^{-1} \\ &\quad (a_i - a_{iM} - b_i) k_{i1} + \rho_i P_i c_i \\ &\quad + b_i' (\bar{b}_i - k_{i2})^T \Gamma_{i2}^{-1} (\bar{b}_i - k_{i2}) \\ &\quad + b_i' \left(\frac{1}{b_i'} + k_{i3} \right)^2 / \Gamma_{i3} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 ρ_i 는 양의 실수이다. 식 (9)의 V 를 시간에 대해 미분하고 식 (8), 식 (7) 및 식 (7.a)에 따라 평가하면 다음과 같이 간략화 된다.

$$\dot{V} = \sum_{i=1}^N \{ -\bar{e}_i^T Q_i \bar{e}_i - 2\rho_i \bar{e}_i^T P_i c_i c_i^T P_i \bar{e}_i + 2\bar{e}_i^T P_i c_i \bar{z}_i \} \quad (10)$$

여기서 $\bar{e}_i = \exp(\alpha_i t) e_i$; $\bar{z}_i = \exp(\alpha_i t) z_i$ 이다. 식(10)을 다시 제곱항으로 고쳐쓰면 아래와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \dot{V} &\leq \sum_{i=1}^N \{ -\bar{e}_i^T Q_i \bar{e}_i - 2\rho (\bar{e}_i^T P_i c_i \bar{z}_i)^2 \\ &\quad + \frac{1}{2\rho} \bar{z}_i^T \bar{z}_i \} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 $\rho = \min \rho_i$ 이다.

이제 식 (11)로부터 모든 $\bar{e}_i \neq 0$ 에 대하여 $\dot{V} < 0$ 이 되게 하는 충분한 크지만 유한한 ρ 가 존재함을 알 수 있다. 그러나 ρ 의 값에 대해 구체적으로 알 필요는 없다. 이상에서 $\bar{e}_i \neq 0$ 일때 $V > 0$, $\dot{V} < 0$ 이므로, Lyapunov 안정이론에 의하여 식(8)의 신호들 $e_i(t)$, $k_{i1}(t)$, $k_{i2}(t)$ 및 $k_{i3}(t)$, $i=1, 2, \dots, N$ 은 이들의 유한한 초기치 및 모든 t 에 대해 유한하고, 더구나 $\bar{e}_i = 0$ 일때만 $\dot{V} = 0$ 이므로, \bar{e}_i , $i=1, 2, \dots, N$ 은 0에 수렴한다. 즉 $e_i(t)$ 는 $\exp(-\alpha_i t)$ 보다 큰 감소율로 0에 수렴한다.

V. 수치 예

다음과 같이 2 개의 부시스템이 상호연결된 불안정한 선형 연속시간 시스템을 생각하자.

$$\begin{aligned} (s^3 - 6s^2 + 11s - 6) Y_1 &= (2s^2 + 5s + 2) U_1 + (12s^2 + 6s + 3) Y_2 \\ (s^2 + 16s + 1) Y_2 &= (8s + 10) U_2 + (4s + 12) Y_1 \end{aligned}$$

여기서 각 다항식의 계수들의 값은 모르는 것으로 간주한다.

먼저 설계변수들로서 식(2)의 $R_i(s)$, 식 (5.a)의 안정한 행렬 A_{iM} , 식 (7.a)의 α_i 및 Q_i 를 다음과 같이 선정하자.

$$R_1(s) = s^2 + 18s + 80, \quad R_2(s) = s + 8$$

$$A_{1M} = \begin{bmatrix} -8 & 0 & 0 \\ 1 & -18 & -80 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad A_{2M} = \begin{bmatrix} -10 & 0 \\ 1 & -8 \end{bmatrix}$$

$$Q_1 = I_3, \quad Q_2 = 2I_2$$

경우 1 : $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$

경우 2 : $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 2$

여기서 I_n 은 n 차원의 단위행렬이다.

이제 예제시스템에 대해 제안된 DMRAC를 적용한

컴퓨터 모사가 행하여졌다. 식(6)의 조정 제한이득에 대한 초기 추정치, 식(7)의 가중행렬, 식(5)의 기준 입력을 아래와 같이 정하여 모사한 결과가 그림2와 3에 주어져 있다. 경우 1 보다는 경우 2에 있어 각 부시스템의 출력(y_i)이 기준모델의 출력(y_{iM})을 빠른 시간내에 잘 추종하고 있음을 볼 수 있다.

$$k_{11}^T(0) = [1 \ 1 \ 5], \quad k_{21}(0) = [0.3 \ 0.2]$$

$$k_{12}^T(0) = [0.6 \ 0.6], \quad k_{22}(0) = 0.8$$

$$k_{13}^T(0) = -5, \quad k_{23}(0) = 10$$

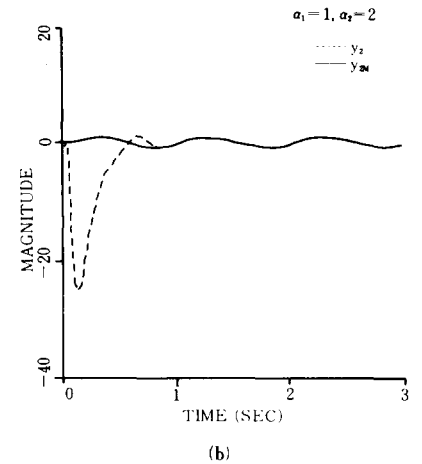
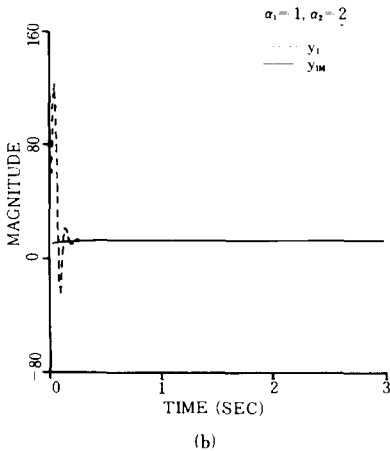
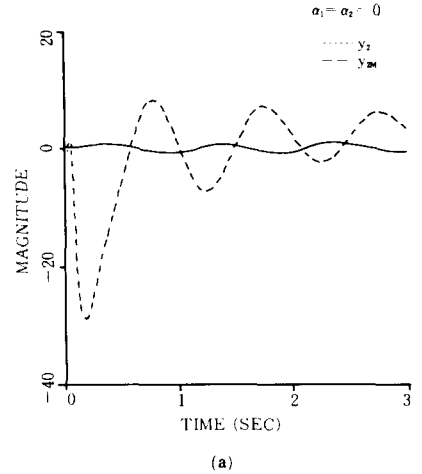
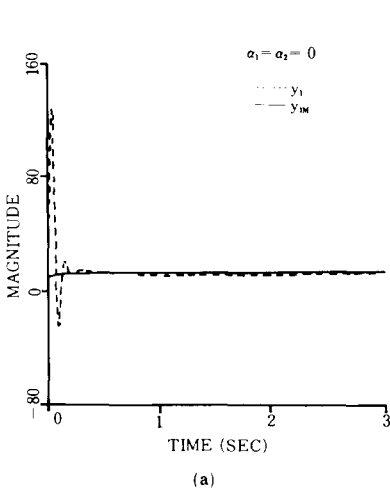


그림 2. 두 경우에 대한 부시스템 1 (y_1)의 모델 (y_{1M}) 추종

(a) 경우 1 ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0$)

(b) 경우 2 ($\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 2$)

Fig. 2. Model (y_{1M}) following of subsystem 1 (y_1) for two cases.

(a) Case 1 ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0$).

(b) Case 2 ($\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 2$).

그림 3. 두 경우에 대한 부시스템 2 (y_2)의 모델 (y_{2M}) 추종

(a) 경우 1 ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0$)

(b) 경우 2 ($\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 2$)

Fig. 3. Model (y_{2M}) following of subsystem 2 (y_2) for two cases.

(a) Case 1 ($\alpha_1 = \alpha_2 = 0$).

(b) Case 2 ($\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 2$).

$$\Gamma_{11} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}, \quad \Gamma_{21} = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma_{12} = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \Gamma_{22} = 0.5$$

$$\Gamma_{13} = 1, \quad \Gamma_{23} = 0.5$$

$$u_{1M}(t) = 10, \quad u_{2M}(t) = 10 \sin(2\pi t), \quad t \geq 0$$

VI. 결 론

여러 개의 단입력, 단출력 부시스템들로 구성되어 있는 일련의 상호연결된 선형 연속시간 시스템이 주어진 기준 모델을 추종하도록 입출력 데이터만을 가지고 비집중 적응제어를 설계하는 방법이 제시되었다.

본 방식은 임의의 상호결합의 영향을 제압하고 추종 오차를 지수적으로 감소시킬 수 있는 적응 기구를 가지고 있다.

앞으로 각 부시스템의 상대차수가 1 이상인 경우에 대한 확장연구가 수행될 예정이다.

부록 A: 식 (3)의 유도

식 (1)을 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\{s^{n_i} + f_i^T d_{i1}(s)\} Y_i = g_i^T d_{i1}(s) U_i + \sum_{j=1}^N f_{ij}^T d_{ij}(s) Y_j, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (A1)$$

여기서 $f_i^T = [f_{i1}^T, \dots, f_{iN}^T]$; $g_i^T = [g_{i1}^T, \dots, g_{iN}^T]$; $f_{ij}^T = [f_{ij1}^T, \dots, f_{ijN}^T]$; $d_{i1}^T(s) = [s^{n_i-1}, \dots, 1]$; $d_{ij}^T(s) = [s^{n_{ij}-1}, \dots, 1]$ 로 주어진다. 또한 식 (2)의 $R_i(s)$ 도 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$R_i(s) = s^{n_i-1} + r_i^T d_{i3}(s) \quad (A2)$$

여기서 $r_i^T = [r_{i1}^T, \dots, r_{iN}^T]$; $d_{i3}^T(s) = [s^{n_i-2}, \dots, 1]$ 이다.

(A1)을 (A2)로 나누고 이를 정리하면 다음과 같이 된다.

$$sY_i = a_i^T Y_i + \bar{a}_i^T \frac{d_{i3}(s)}{R_i(s)} Y_i + b_i^T \left(U_i + \bar{b}_i^T \frac{d_{i3}(s)}{R_i(s)} U_i \right) + \sum_{j=1}^N a_{ij}^T \frac{d_{ij}(s)}{R_i(s)} Y_j, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (A3)$$

여기서 $a_i^T = r_i^T - f_i^T$; $b_i^T = g_i^T$; $\bar{f}_i^T = [f_{i1}^T, \dots, f_{iN}^T]$; $\bar{g}_i^T = [g_{i1}^T, \dots, g_{iN}^T]$; $\bar{r}_i^T = [r_{i1}^T, \dots, r_{iN}^T; 1]$; $\bar{a}_i = r_i - (f_i - \bar{r}_i)$; $\bar{b}_i = \frac{1}{b_i} (\bar{g}_i - r_i, g_i)$; $a_{ij} = f_{ij}$ 로 주어진다.

최종적으로 다음의 항을 정의하여

$$V_i(s) = \frac{d_{i3}(s)}{R_i(s)} Y_i, \quad W_i(s) = \frac{d_{i3}(s)}{R_i(s)} U_i, \quad Z_{ij}(s) = \frac{d_{ij}(s)}{R_i(s)} Y_j, \quad (A4)$$

식 (A3)에 대입하면 본문의 (3)식을 얻게 된다. 참고로 (A4)의 $V_i(s)$ 및 $W_i(s)$ 는 시간영역에서 다음과 같이 구현한다.

$$\dot{v}_i = R_i v_i + \bar{c}_i y_i, \quad \dot{w}_i = R_i w_i + \bar{c}_i u_i, \quad (A5)$$

여기서 R_i 와 \bar{c}_i 는

$$R_i = \begin{bmatrix} r_i^T \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & & & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{c}_i = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

와 같이 주어진다.

부록 B: (5.a) 식의 a_{iM} 선정

다음의 전달함수 형태로 표현되는 기준모델을 생각하자.

$$F_{iM}(s) Y_{iM}(s) = R_i(s) U_{iM}(s), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (B1)$$

여기서 $F_{iM}(s)$ 는 원하는 고유치를 갖는 특성 다항식으로 다음과 같이 주어진다.

$$F_{iM}(s) = s^{n_i} + f_{iM}^1 s^{n_i-1} + \dots + f_{iM}^{n_i} \quad (B2)$$

(B1)을 $R_i(s)$ 로 나누고 이를 정리하여 쓰면 다음과 같이 된다.

$$sY_{iM} = a_{iM}^1 Y_{iM} + \sum_{k=2}^{n_i} a_{iM}^k V_{iM}^k + U_i, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (B3)$$

여기서

$$a_{iM}^1 = r_i^1 - f_{iM}^1, \quad a_{iM}^k = (f_{iM}^k - r_i^k) r_i^{k-1} - (f_{iM}^k - r_i^k); \quad r_i^{n_i} = 0, \quad V_{iM}^k = \frac{s^{n_i-k}}{R_i(s)} Y_{iM}, \quad k=2, \dots, n_i \quad (B4)$$

로 주어진다.

상태벡터를 $x_{iM}^T = [y_{iM}, v_{iM}^1, \dots, v_{iM}^{n_i}]$ 로 규정하여 식 (B3)는 본문의 식 (5)로 변환한다. 그리고 a_{iM} 은 $a_{iM} = [a_{iM}^1, \dots, a_{iM}^{n_i}]$ 로서 식 (B4)로부터 계산될 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] N.R. Sandell et. al., "Survey of decentralized control methods for large scale systems", *IEEE Trans. Auto. Contr.*, vol. 23, pp. 108-128, 1978.
- [2] 변중남, 유 준, "대규모 시스템에 대한 적응기법의 구현", 전기학회 잡지 제33권, pp. 47-51, 1984.
- [3] A. Hmamed and L. Radouane, "Decentralized nonlinear adaptive feedback stabilization of large scale interconnected systems", *IEE Proc. Part D*, vol. 130, pp. 57-62, 1983.
- [4] J. Lyou and Z. Bien, "A note on Decentralized stabilization of unknown Interconnected Linear systems", *IEE Proc. Part D*, vol. 131, pp. 202-203, 1984.
- [5] 유 준, 변중남, 윤명중, "시스템 파라미터가 불확실한 대규모 선형 연속시간 시스템의 비집중 안정화", 전자공학회지, 제22권, pp. 77-83, 1985.
- [6] D. Gavel and D. Siljak, "High gain adaptive decentralized control", *Proceedings of ACC*, pp. 568-573, 1985.
- [7] 김영석, 변중남, "Exponentially Stable Continuous-Time MRAC", 1985년도 대한전기학회, 계측 제어 연구회 추계 학술회의 논문집, pp.10-12.