

계수도법을 이용한 전압제어 직류전동기 2관성 시스템의 속도제어기 설계

Speed Controller Design of 2-Inertia System used Voltage Controlled DC Motor by CDM

안 영 주*

Young-Joo An

요 약

위치제어 시스템이나 속도제어 시스템의 제어기 설계에서는 항상 기계적인 시스템의 유연성이 고성능에 대한 제약요소로 작용한다. 회전축으로 연결된 대부분의 기계적 시스템은 자체 회전자 관성과 부하 관성으로 이루어진 2관성 시스템이며, 이들 관성에 의해 회전축에는 비틀림이 발생한다. 이들 비틀림 현상은 회전 맥동 및 진동을 발생한다. 비틀림 진동을 억제하기 위하여 많은 연구가 행해져 왔다.

본 연구에서는 CDM을 이용하여 전압제어형 직류전동기 2관성 시스템의 속도제어기를 설계한다. 먼저 CDM을 적용한 제어기 설계가 용이하도록 전압제어형 직류전동기 2관성 시스템의 모델을 구한다. 그 후 CDM 표준형을 적용한 적절한 제어기를 설계한다. 설계된 속도제어 시스템은 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성이 검토된다.

Abstract

In the controller design of position or velocity control system, the flexibility of the mechanical system is always the limiting factor to the higher performance. Most mechanical systems coupled with rotary shaft are 2-inertia systems which are consist of motor and load inertia. These inertias make a torsion in rotary shaft and cause torsional vibration. To suppress vibration, various control strategies have been proposed mainly for controlling 2-inertia system.

In this paper, a speed controller design for a 2-inertia system composed of voltage controlled DC motor and load inertia is made by using CDM(coeffcient diagram method). First, the 2-inertia system model is derived. Then the CDM is used to design the proper controller. A validity of this approach is confirmed by simulation and experimental results.

Key Words : CDM, 2-inertia system

1. 서 론

회전축을 포함한 기계적 시스템에서, 구동기의 급격한 속도 변화나 부하 토크의 변화에 의해 회전축에는 비틀림이 발생하고 이러한 비틀림은 시스템에 진동을 일으킨다. 또한 축에 연결된 부하의 관성이 클수록 이러한 비틀림 진동 현상이 더욱 증가하여 전체 시스템의 안정성에 큰 영향을 미친다. 특히 발전용 터빈과 같은 대형의 회전축에서 발생하는 비틀림 진동과 선박의 엔진과 스크류 사이의 긴 회전축으로 인한 비틀림은 공진 현상을 발생시켜 축 계의 손상이나 축 계에 연결되어 있는 커플링의 풀림 등으로 전체 시스템의

불안정을 초래한다. 따라서 회전축의 비틀림 진동은 제어에 의해 억제되어야 하며, 이러한 제어를 위해 많은 제어 방법들이 제안되고있다[1] ~ [6].

CDM(Coeffcient Diagram Method, 계수도법)[7]은 전달함수로 표현된 플랜트에 대해 특성방정식 계수들의 특정 관계에 근거한 극 배치 방법을 이용하여 관측기 구조의 제어기를 설계하는 방법이다. 특히 특성방정식 계수들의 관계를 안정도, 과도응답특성 및 응답속도 등 시간영역의 설계조건과 연관시켜 정리하였기 때문에 시간영역 설계조건을 만족시키기가 용이한 제어기 설계방법이다.

본 연구에서는 CDM을 이용하여 전압제어형 직류전동기 2관성 시스템의 속도제어 시스템을 설계하고 그 성능을 검토한다. 먼저 CDM을 적용한 제어기 설계가 용이하

*부경대학교 전기 제어 계측 공학부
접수 일자 : 2003. 5. 30 수정 완료 : 2003. 7. 21
논문 번호 : 2003-2-17

도록 전압제어형 직류전동기 2관성 시스템의 모델을 구한다. 그 후 2관성 시스템의 진동을 억제하고 안정한 운전을 하기 위해 CDM 표준형을 적용한 적정한 제어기를 설계하고, 이를 실제 전압제어형 직류전동기 2관성 시스템에 적용하여 시뮬레이션 및 실험을 통하여 성능을 확인한다.

논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 전압제어형 직류전동기를 사용한 2관성 시스템의 모델을 구한다. 3장에서는 제어기를 포함한 전체 제어시스템을 구성하여 CDM을 적용한 제어기를 설계하고, 4장은 설계된 시스템의 시뮬레이션 및 실험결과를 제시한다. 5장은 결론을 맺는다.

II. 2관성 시스템의 모델

산업용 서보시스템은 몇 개의 관성모멘트와 탄성을 갖는 축으로 연결된 다관성 시스템으로 구성된다. 그러나 이들 대부분의 시스템은 2관성 시스템으로 근사화하여 해석하는 것이 가능하며, 이 2관성 시스템이 가장 간단한 진동모델이다.

전압제어형 직류전동기로 구동되는 2관성 시스템의 블록도가 그림 1에 나타나 있다. 입력은 전동기 구동전압 V , 출력은 전동기 속도 Ω_M 과 부하속도 Ω_L 이며, 속도검출기는 전동기 축에만 설치되어 있다. 그리고 그림 1에서 파라미터들은 다음과 같다.

- J_M : 전동기 관성, B_M : 전동기 점성마찰계수
- J_L : 부하 관성, B_L : 부하의 점성마찰계수
- L_a : 전기자 인덕턴스, R_a : 전기자 저항
- K_v : 역기전력 상수, Ω_M : 전동기 속도
- K_s : 스프링 상수, Ω_L : 부하 속도
- K_T : 토크 상수, T_M : 전동기 토크
- T_L : 외란 토크, T_s : 축 토크

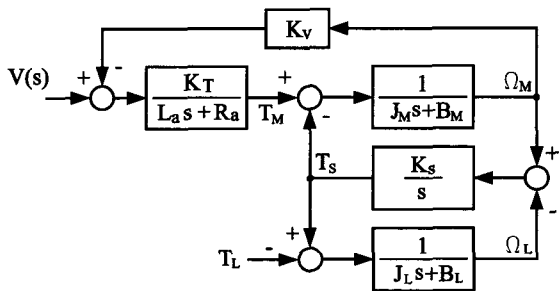


그림 1. 2-관성시스템의 블록선도
Fig. 1. Block diagram of two inertia system

그림 1의 2관성 시스템에서 입력을 전압 V , 출력을 전동기 속도 Ω_M , 부하속도 Ω_L 로 할 때, 운동방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} G_1 & G_2 & 0 \\ -1 & G_3 & 1 \\ 0 & 1 & G_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_M \\ T_s \\ \Omega_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ 0 \\ T_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

단, 여기서

$$G_1 = \frac{1 + G_M G_e K_v K_T}{G_M G_e K_T}, \quad G_2 = \frac{1}{G_e K_T}, \quad G_3 = \frac{s}{K_s}$$

$$G_4 = -\frac{1}{G_L}, \quad G_M = \frac{1}{J_M s + B_M}, \quad G_L = \frac{1}{J_L s + B_L}$$

$$G_e = \frac{1}{L_a s + R_a}$$

이다.

계수도법 적용에 적합하도록 전압입력 V 와 부하토크 또는 외란 토크 T_L 을 입력으로 하여 식(1)을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} -1 & B_p \\ 0 & A_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_M \\ \Omega_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} V + \begin{bmatrix} G_5 \\ C_p \end{bmatrix} T_L \quad (2)$$

여기서,

$$B_p = \frac{s}{K_s G_L} + 1 \quad (2a)$$

$$A_p = \left(\frac{1}{G_M G_e K_T} + K_v \right) \left(\frac{s}{K_s G_L} + 1 \right) + \frac{1}{G_e G_L K_T} \quad (2b)$$

$$C_p = \frac{1}{G_e K_T} + \left(\frac{1}{G_M G_e K_T} + K_v \right) \frac{s}{K_s} \quad (2c)$$

또한, 식(2)로부터 외란 토크 입력을 영으로 두고 전압 입력 V 에 대한 전동기 속도출력 Ω_M 사이의 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$G_p(s) = \frac{\Omega_M(s)}{V(s)} = \frac{B_p}{A_p} \quad (3)$$

$$B_p = b_2 s^2 + b_1 s + b_0 \quad (3a)$$

$$A_p = a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 \quad (3b)$$

단, B_p 와 A_p 는 식 (2a)와 (2b)를 사용하며, 표현을 단순화하기 위해 s 의 다항식으로 식 (3a)와 (3b)로 나타낸다.

전동기의 인덕턴스, 전동기와 부하의 점성마찰계수의 값은 상당히 적기 때문에 해석을 간단히 하기 위하여 무시하였다.

III. 계수도법에 의한 제어기 설계

계수도법은 페루프 전달함수와 제어기를 부분적으로 정의하고, 설계에 의하여 나머지 파라미터를 결정하여 동시에 페루프 전달함수와 제어기를 설계하는 방법이다. 전압제어형 직류전동기를 사용한 2관성 시스템의 제어기 설계를 위해 계수도법을 적용한 제어기를 사용한 전체 시스템의 구성도를 식(2)를 사용하여 그림 2에 나타낸다.

제어기는 $B_a(s)$, $A_c(s)$ 및 $B_c(s)$ 로 구성되며, Ω_r 은 속도지령 입력이다.

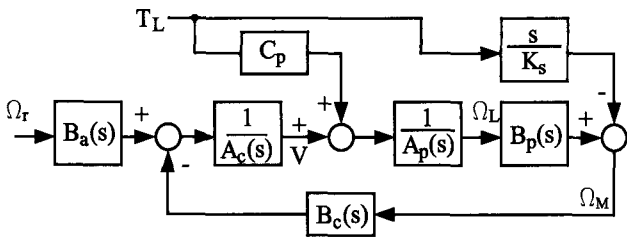


그림 2. 제어시스템의 블록선도
Fig. 2. Block diagram of control system

시스템의 진동을 억제하기 위해 엔코더나 속도발전기를 부하 축의 회전축에 설치하여 부하속도를 검출하고 이를 제어기에 피드백시키는 제어방법이 있지만, 이러한 방법이 다관성 시스템에 적용될 때 부하 축에 속도센서를 설치하는 것은 어려움이 있다. 그러나 직류전동기의 회전축에 속도센서의 설치는 용이하므로, 본 시스템에서는 부하 축에 속도센서를 설치하지 않고 전동기 속도만을 검출하여 진동을 억제하는 제어를 행한다.

1. 제어기의 수학적 모델

그림 2의 시스템에서 제어기는 $B_a(s)$, $A_c(s)$ 및 $B_c(s)$ 로 구성된다. 전향보상기 $B_a(s)$ 는 시스템 전체의 이득을 설정하는 부분이며, $A_c(s)$ 와 $B_c(s)$ 는 각각 제어기의 분모와 분자 다항식에 해당한다.

제어기는 분모에 시정수를 갖는 2자유도형의 PID 제어기, 즉 변형 IPD 제어기를 이용한다. 이를 나타내면 다음과 같다[5].

$$A_c(s) V = B_a(s)\Omega_r - B_c(s)\Omega_M \tag{4}$$

$$B_a(s) = k_0 \tag{4a}$$

$$B_c(s) = k_2s^2 + k_1s + k_0 \tag{4b}$$

$$A_c(s) = m_2s^2 + m_1s \tag{4c}$$

2. 시스템의 응답

제어대상과 제어기를 합친 페루프시스템은 식 (2)와 (4)를 사용하여 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} -1 & B_p & 0 \\ 0 & A_p & -1 \\ B_c & 0 & A_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Omega_M \\ \Omega_L \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ B_a \end{bmatrix} \Omega_r + \begin{bmatrix} G_5 \\ C_p \\ 0 \end{bmatrix} T_L \tag{5}$$

이것을 풀면 다음과 같은 응답의 관계식을 얻는다.

$$\Omega_M = P(s)^{-1}[B_p B_a \Omega_r + (A_c/G_e K_T) T_L] \tag{6}$$

$$\Omega_L = P(s)^{-1}[B_a \Omega_r + (A_c C_p + B_c G_5) T_L] \tag{7}$$

$$V = P(s)^{-1}[A_p B_a \Omega_r - (B_c/G_e K_T) T_L] \tag{8}$$

$$P(s) = A_c A_p + B_c B_p \tag{9}$$

여기서 $P(s)$ 는 페루프 시스템의 특성다항식이다.

3. 계수도에 의한 검토

특성다항식 $P(s)$ 는 식(2), (4) 및 (9)를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(s) = (m_2s^2 + m_1s)A_p + (k_2s^2 + k_1s + k_0)B_p = p_6s^6 + p_5s^5 + p_4s^4 + p_3s^3 + p_2s^2 + p_1s + p_0 \tag{10}$$

$$\begin{aligned} p_6 &= m_2a_4, & p_5 &= m_2a_3 + m_1a_4, \\ p_4 &= m_2a_2 + m_1a_3 + k_2b_2, \\ p_3 &= m_2a_1 + m_1a_2 + k_2b_1 + k_1b_2, \\ p_2 &= m_2a_0 + m_1a_1 + k_2b_0 + k_1b_1 + k_0b_2 \\ p_1 &= m_1a_0 + k_1b_0 + k_0b_1, & p_0 &= k_0b_0 \end{aligned}$$

이것을 계수도에 나타내면 그림 3과 같이 된다. 계수도에서는 특성다항식의 계수 p_i 를 세로축 좌측의 대수눈금에, 안정도지수 γ_i , 등가시정수 τ 및 안정도 한계지수 γ_i^* 를 우측의 대수눈금으로 나타내고 있다.

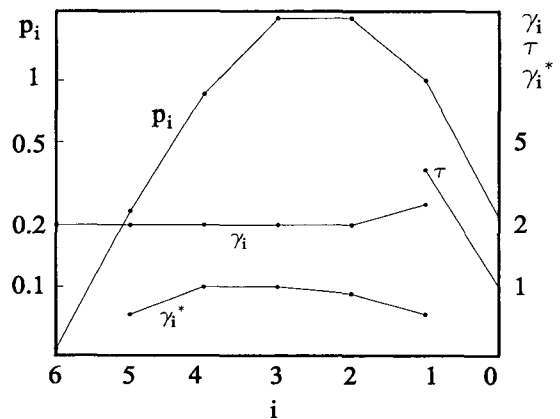


그림 3. 계수도
Fig. 3. Coefficient diagram

또한 등가시정수는 $i=0$ 에서는 1을, $i=1$ 에서는 τ 로 되는 직선으로 표현되고 있다. Manabe의 표준형[7]을 고려할 경우 원하는 특성다항식에 대한 γ_i 는 거의 2정도로 되며, 계수 p_i 의 선은 위쪽에 볼록한 곡선으로 된다. 또한 등가시정수가 작아져서 응답이 빠르면 우측단이 올라가고, 반대로 늦어지면 좌측단이 올라간다.

4. 제어기 설계

제어기 설계는 페루프 시스템에 적용된 제어기 $A_c(s)$ 와 $B_c(s)$ 의 계수값 m_2, m_1, k_2, k_1 및 k_0 를 안정도 지수 γ_i 에 적합하도록 설정하는 것이다.

안정도지수는 Manabe의 표준형인

$$\gamma_i = [\gamma_5 \ \gamma_4 \ \gamma_3 \ \gamma_2 \ \gamma_1] = [2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2.5] \quad (11)$$

을 사용하며, 페루프 다항식 (10)의 계수 p_i 와 안정도 지수의 관계는 다음과 같다.

$$\gamma_i = p_i^2 / (p_{i+1} p_{i-1}), \quad i = 1 \sim n-1 \quad (12)$$

$$\gamma_n = \gamma_0 = \infty \quad (13)$$

$$\tau = p_1 / p_0, \quad (14)$$

$$p_i = a_0 \tau_i / (\gamma_{i-1} \gamma_{i-2}^2 \gamma_{i-3}^2 \gamma_{i-4}^3 \dots) \quad (15)$$

식 (11)~(15)를 사용하여 각각의 관계를 구하면 다음과 같다. 여기서 설계사양의 정정시간이 2초 이내로 할 경우 등가시정수 τ 는 0.7로 설정한다. 등가시정수는 시스템 응답의 정정시간과 직접적인 관계가 있으며, 정정시간 t_s 와는 $t_s = 2.5\tau \sim 3\tau$ 가 되는 것으로 보고되어 있다 [5.7].

$$p_6 = 1.17649 \times 10^{-6} p_0, \quad p_5 = 6.7228 \times 10^{-5} p_0$$

$$p_4 = 1.9208 \times 10^{-3} p_0, \quad p_3 = 0.02744 p_0$$

$$p_2 = 0.196 p_0, \quad p_1 = 0.7 p_0$$

$$p_0 = k_0 b_0$$

위의 식에 페루프 특성다항식 (10)을 적용하고, 이를 행렬로 나타내면 다음 식 (16)과 같다.

$$\begin{bmatrix} a_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_3 & a_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & a_3 & 0 & b_2 & 0 & 0 \\ a_1 & a_2 & 0 & b_1 & b_2 & 0 \\ a_0 & a_1 & 0 & b_0 & b_1 & b_2 \\ 0 & a_0 & 0 & 0 & b_0 & b_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_2 \\ m_1 \\ 0 \\ k_2 \\ k_1 \\ k_0 \end{bmatrix} = p_0 \begin{bmatrix} 1.1765 \times 10^{-6} \\ 6.7228 \times 10^{-5} \\ 1.9208 \times 10^{-3} \\ 0.02744 \\ 0.196 \\ 0.7 \end{bmatrix} \quad (16)$$

식 (16)의 해를 구하면 제어기의 계수를 얻는다. 그러나 이들 행렬식으로부터 해를 구하는 것이 쉽지 않다. 왜냐하면 순차적으로 고차 항에서부터 계수를 구하면 저차 항에서는 그 결과가 성립되지 않기 때문이다. 그러므로

제어기의 계수를 구하기 위해서는 방정식의 수정이 불가피하다.

여기서는 $p_1 \sim p_4$ 의 관계식만으로 제어기의 계수를 구하도록 하고, 그 결과로부터 페루프 특성다항식의 계수 p_5 와 p_6 에 수정된 값을 적용한다. 이는 안정도지수 γ_4 와 γ_5 의 값이 변경됨을 의미하며, Manabe 표준형에서도 안정도지수 γ_3 이상의 값은 안정도 한계지수를 벗어나지 않으면 가능한 것으로 되어 있다. 그리고 제어기 계수를 쉽게 구하기 위하여 제어기의 $k_0=1$ 로 설정한다. 이로부터 얻은 행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} a_2 & a_3 & b_2 & 0 \\ a_1 & a_2 & b_1 & b_2 \\ a_0 & a_1 & b_0 & b_1 \\ 0 & a_0 & 0 & b_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_2 \\ m_1 \\ k_2 \\ k_1 \end{bmatrix} = p_0 \begin{bmatrix} 1.9208 \times 10^{-3} \\ 0.02744 \\ 0.196 - b_2 \\ 0.7 - b_1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

제어기 계수 m_2, m_1, k_2 및 k_1 은 식 (17)의 해로부터 구해진다.

IV. 시뮬레이션 및 실험 결과

본 연구 방법의 타당성을 검토하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 행하였다. 시뮬레이션에 사용한 2관성 시스템의 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters

| Symbol | Value | Unit | Symbol | Value | Unit |
|--------|---------|------------------|--------|----------|----------|
| J_M | 0.0016 | kgm ² | B_M | 0.000132 | Nm/rad/s |
| J_L | 0.00608 | kgm ² | B_L | 0.000066 | Nm/rad/s |
| K_T | 0.07957 | Nm/A | K_v | 0.07957 | V/rad/s |
| L_a | 10 | mH | R_a | 2.5 | Ω |
| K_s | 0.2 | Nm/rad | | | |

그림 4는 2-관성 시스템의 실험장치이다. 실험장치는 IBM PC, DC전동기, 속도검출을 위한 로터리 엔코더, 비틀림 스프링, 전동기 구동용 Power Amp 및 DSP 보드 등으로 구성되어 있다.

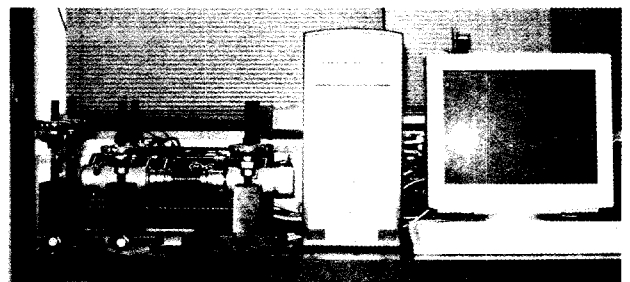


그림 4. 2-관성시스템의 실험장치
Fig. 4. Experimental set-up of 2-inertia system

표 1을 적용하여 구한 제어기는 다음과 같다.

$$A_c(s) = 0.0235s^2 + 0.5386s$$

$$B_c(s) = 0.0334s^2 + 0.4535s + 1$$

또한 전향보상기 B_a 는 전체 시스템의 이득이 1이 되도록 설정하였다.

1. 시뮬레이션 결과

2관성 시스템의 주어진 계수를 사용하고, PID 제어기와 CDM 제어기를 사용한 경우의 스텝응답을 계산하고 이를 그림 5와 6에 나타내었다. 그림 5는 PID제어기를 사용한 경우이다.

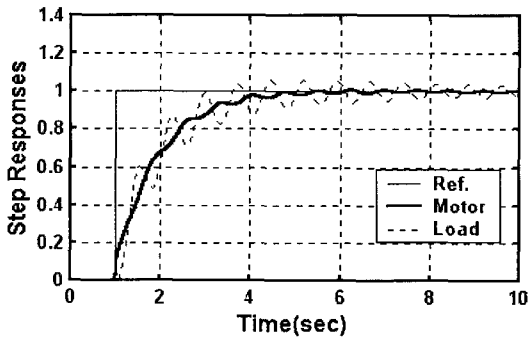


그림 5. PID 제어기를 갖는 시스템의 계단응답
Fig. 5. Step responses of system with PID controller

그림 5로부터 알 수 있듯이 PID 제어기를 적용한 경우 페루프 시스템의 스텝응답은 목표속도에는 도달하나 전동기와 부하 축의 회전속도에 진동이 많이 포함되어 있다. 그러나 그림 6의 CDM 제어방법을 적용한 경우에는 진동이 거의 포함되어 있지 않다. 또한 무부하 상태에서 전동기 속도와 부하의 속도가 거의 일치되는 응답을 보이고 있다. 정정시간은 약 2[sec] 정도이며, 이는 등가시정수 τ 의 2.5~3배의 범위를 만족하고 있다.

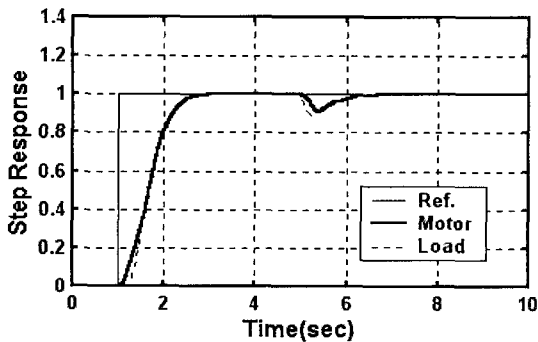


그림 6. CDM을 갖는 시스템의 계단응답
Fig. 6. Step responses of system with CDM

그림 6은 스텝입력이 인가되고 전동기가 정상속도를 찾은 후에 5초 시점에서 외란토크를 인가한 경우 시스템

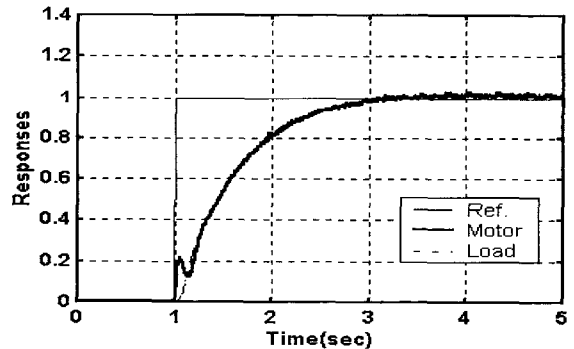
의 응답도 나타내고 있다. 외란토크가 인가된 시점에서는 이를 보상하기 위한 전동기 속도의 감소가 나타나지만 약 1[sec] 이내에 지령속도를 회복하는 것을 알 수 있다.

이로부터 CDM 제어기를 적용한 2관성 시스템의 속도 응답은 진동이 거의 없이 지령속도를 잘 추정하고 있는 것으로 판단된다.

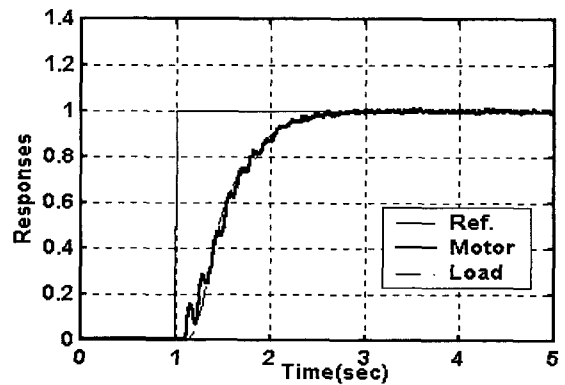
2. 실험결과

본 논문에서 설계한 CDM 제어기를 2-관성 시스템에 적용하여 전동기와 부하의 속도에 대한 스텝응답을 측정하였다.

그림 7은 2-관성 시스템에 PID 제어기와 CDM 제어를 행한 경우의 스텝응답이다. 속도지령은 1500[rpm]을 정규화하여 나타내었다. PID 제어기를 사용한 시스템의 응답은 정정시간 약 2초 이내로 설계조건을 만족하고 있으며, 입력 초기에는 전동기 속도에 약간의 진동이 포함되고, 또한 정상상태 응답에서 약 3[%]의 오버슈트를 나타내고 있다. CDM 제어방법에 의한 시스템의 스텝응답은 정상상태에 도달할 때까지는 전동기 속도에 약간의 진동이 포함되는 것을 확인할 수 있으나 정상상태에 이르러서는 작은 진동에 오버슈트도 거의 없이 안정하게 운전되는 것이 확인된다. 또한 설계 시에 고려한 정정시간도 2초 이내로 등가시정수의 3배 이내를 만족하고 있다.



(a) PID



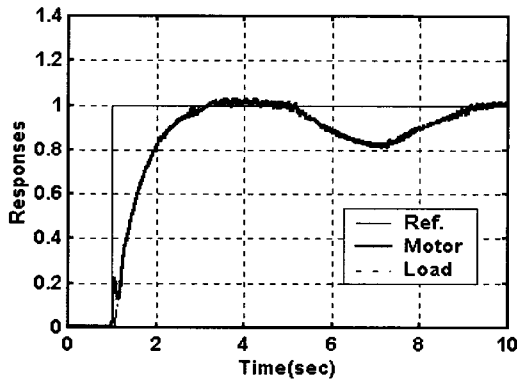
(b) CDM

그림 7. 2-관성시스템의 속도응답
Fig. 7. Speed responses of 2-inertia system
그림 8은 각각의 제어기를 적용한 시스템에 입력지령

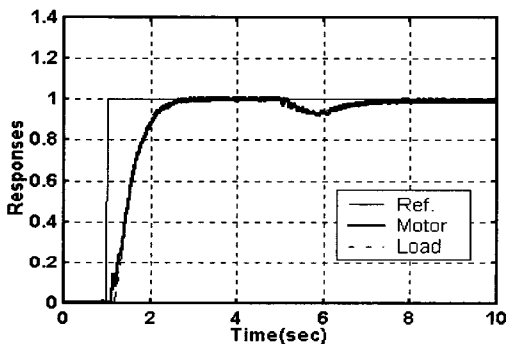
을 인가하여 정상상태에 도달한 후인 5초 시점에 외란 토크를 지속적으로 인가한 경우의 외란 특성을 측정하는 것이다.

PID 제어를 행한 경우 전동기 및 부하의 최대 속도 변화는 약 18[%] 정도까지 심하게 나타나고, 또한 정상상태로 회복하는 시간도 약 4초를 넘는 것을 알 수 있다.

그러나 CDM 제어를 행한 경우 속도변동은 약 9[%] 이내를 유지하며, 또한 2초 정도의 시간으로 정상상태를 회복하는 특성을 나타내고 있다.



(a) PID



(b) CDM

그림 8. 외란 토크 인가시 2-관성시스템의 속도응답
Fig. 8. Speed responses of 2-inertia system when disturbance torque exist.

V. 결론

본 논문에서는 전압제어형 직류전동기를 사용한 2-관성 시스템의 속도 제어기 설계를 위해 CDM을 적용하였고, 시뮬레이션과 실험을 통해 이에 대한 타당성을 검증하였다.

폐루프 시스템의 특성다항식은 안정성과 응답성을 포함하고 있으며, CDM 방법은 효과적으로 특성다항식과 제어기를 동시에 설계하는 것이 가능하다. 또한 시뮬레이션과 실험을 통하여 CDM 방법이 PID 제어방법보다 제어기 설계 및 구현에 있어서 간편하고 우수한 특성을 나타낸다는 것이 확인되었다.

CDM은 만족스런 제어기를 설계하는 데 있어 폭넓은

응용 측면을 가지고 있으며, 마이크로프로세서에 의해 제어기 실현도 보다 쉽게 될 수 있다.

특정한 파라미터를 갖는 시스템에 있어서는 설계 및 구현에 어려움을 나타내었으나 이러한 점이 보완될 수 있도록 추가 연구를 필요로 한다.

참고 문헌

- [1] K.Yuki, T.Murakami and K.Ohnishi, "Vibration Control of a 2 Mass Resonant System by Resonance Ration Control," IEEE Int. Conf. Industrial Electronics, Vol. 3, pp. 2009-2014, 1993.
- [2] K.sugiura and Y.Hori, "Vibration suppression in 2- and 3-mass system based on the feedback of imperfect derivative of the estimated torsional torque," IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 43, No. 1, pp. 56-64, 1996.
- [3] Y.Wu, K.Fujikawa and H.Kobayashi, "A Torque Control Method of Two-Mass Resonant System with PID-P Controller," Proc. of 5th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, Coimbra, Portugal, pp. 240-245, 1998.
- [4] K.Date, H.Ohmori, A.Sano, Y.Todaka and H. Nishida, "Speed Control of Two Mass Resonant System by New Simple Adaptive Control Scheme," Proc. of the 1998 IEEE International Conf. on Control Applications, Trieste, Italy, pp. 1120-1124, 1998.
- [5] S. Manabe, "Controller Design of Two-Mass Resonant System by Coefficient Diagram Method," Trans. IEE Japan, Vol. 188-D, No. 1, pp. 58-66, 1998.
- [6] I.Scholing and B.Orlik, "Control of a Nonlinear Two-Mass System with Uncertain Parameters and Unknown States," Industry Applications Conference, Vol. 2, pp. 1096 -1103, 2000.
- [7] S. Manabe, "Coefficient Diagram Method," Proc. of 4th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, pp. 199-220, 1998.



안 영 주 (Young-Joo An)

正會員

1986년 부산공업대학 전기공학과 공학사

1988년 부산대학교 전기전자공학과 공학석사

1995년 부산대학교 전기공학과 공학박사

1998년 ~ 현재 부경대학교 전기·제어

계측공학부 조교수

관심분야 : 제어계측시스템 설계, 에너지변환

마이크로프로세서 응용기기