

## 부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한 2관성계의 $H_{\infty}$ 제어

( $H_{\infty}$  control of 2-mass system using partial state feedback and resonance ratio control)

김진수\* · 유상봉

(Jin - Soo Kim · Sang - Bong Yoo)

### 요 약

전동기와 부하가 강성이 작은 축으로 연결되는 산업용 전동기 구동시스템에 있어서 전동기의 관성과 부하의 관성에 의해 축에 비틀림 진동이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존에 2자유도  $H_{\infty}$  제어가 제안되었다. 그러나 이 제어기는 구현하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한 2관성계의  $H_{\infty}$  제어가 제안되었다. 제안된 제어기는 간단하면서도 외란 및 진동억제 성능을 만족한다.

### Abstract

In the industrial motor drive system which is composed of a motor and load connected with a flexible shaft, a torsional vibration is often generated because of the elastic elements in torque transmission. To solve this problem, the two degrees of freedom  $H_{\infty}$  controller was designed. But it is difficult to realize that controller. In this paper,  $H_{\infty}$  control of 2-mass system using partial state feedback and resonance ratio control is proposed. Proposed controller has simple structure but satisfies the attenuation of disturbances and vibrations.

Key Words : 2-mass system,  $H_{\infty}$  control, partial state feedback, resonance ratio control

### 1. 서 론

전동기 가변속 제어에 있어서 전동기와 부하기계가 강성이 작은 축으로 연결되는 경우 전동기의 관성과 부하의 관성에 의해 축에 비틀림 진동이 발생한다. 이와 같이 구성된 기계계를 2관성계라고 한다. 이러한 2관성계의 축비틀림 진동을 억제하기 위하여 관측기나 필터를 사용하여 상태변수를 추정하고 상태궤환하여 제어하는 방법, 공진비제어를 이용한 방법,  $H_{\infty}$

제어에 의한 방법이 연구되어지고 있다[1~4].

이러한 연구 가운데 가중함수를 조절하여 외란·진동억제 성능을 만족하게 하는  $H_{\infty}$  제어를 중심으로 한 건설제어가 여러 분야에서 활발하다. 그러나  $H_{\infty}$  제어의 경우, 목표치추종성능이 과도응답으로 인해 나빠진다. 이러한 목표치추종성능을 개선하기 위해 기존의 2자유도 제어기를 갖는 형태가 있지만, 이와 같은 2자유도 제어기는 목표치응답특성이 양호하나 2자유도 제어기 설계의 어려움과 제어기 자체가 복잡해지고 실제로 구현시 많은 연산량이 요구되어지는 단점이 있다[4].

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 측정 가능한 상태변수만을 피드백 하여 보상함으로써 목표치추종성능을 개선하고 제어기 구조도 간단해

\* 주저자 : 용인송담대학 전기정보과 전임강사  
Tel : 031-330-9335, Fax. : 031-336-9535  
E-mail : kimjs@ysc.ac.kr  
접수일자 : 2002년 11월 7일  
1차심사 : 2002년 11월 20일  
심사완료 : 2003년 6월 11일

질 수 있는 부분적인 상태제환을 이용한 2관성계의  $H_\infty$ 제어를 제안한다. 또한 이 제어법에 공진비제어를 추가하여 외란에 대하여도 개선된 2관성계의 새로운  $H_\infty$ 제어법을 제안한다. 제안된 2관성계의 진동 억제제어가 간단하면서도 좋은 성능을 가짐을 모의 실험을 통하여 확인한다.

## 2. 2관성계

강성이 작은 축에 의해 전동기와 부하가 연결된 2관성계는 그림 1과 같고 그 블록선도는 그림 2와 같이 구성된다. 상태방정식은 다음 식과 같다.

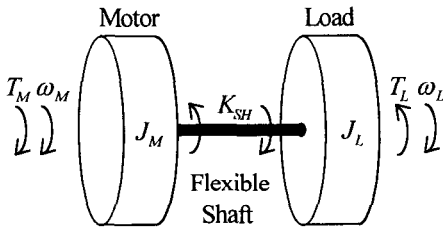


그림 1. 2관성계 플랜트 모델  
Fig. 1. Plant model of 2-mass system

$$\dot{x} = A_p x + B_p T_M + B_d T_L, \quad y = C_p x \quad (1)$$

여기서

$$x = \begin{pmatrix} \omega_M \\ T_{SH} \\ \omega_L \end{pmatrix}, \quad A_p = \begin{pmatrix} -\frac{B_M}{J_M} & -\frac{1}{J_M} & 0 \\ K_{SH} & 0 & -K_{SH} \\ 0 & \frac{1}{J_L} & -\frac{B_L}{J_L} \end{pmatrix}$$

$$B_p = \begin{pmatrix} \frac{1}{J_M} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad B_d = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{J_L} \end{pmatrix}, \quad C_p = (1 \ 0 \ 0)$$

단,  $J_M, J_L$  : 전동기, 부하관성모멘트  
 $B_M, B_L$  : 전동기, 부하감쇠계수  
 $K_{SH}$  : 축비틀림상수

$\omega_M, \omega_L$  : 전동기, 부하속도  
 $T_M, T_{SH}, T_L$  : 전동기발생토크, 축비틀림토크, 부하외란토크

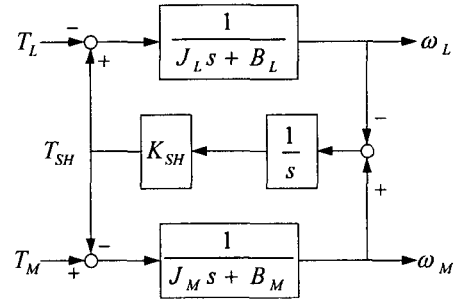


그림 2. 2관성계 블록선도  
Fig. 2. Block diagram of 2-mass system

또한 2관성 공진계의 특성방정식은  $|sI - A_p| = 0$ 에 따라 다음 식으로 된다.

$$G_p(s) = s^3 + \left\{ \frac{B_M}{J_M} + \frac{B_L}{J_L} \right\} s^2 + \left\{ \frac{B_M B_L}{J_M J_L} + \frac{K_{SH}}{J_M} + \frac{K_{SH}}{J_L} \right\} s + \frac{(B_M + B_L) K_{SH}}{J_M J_L} = 0 \quad (2)$$

여기서  $B_M$ 과  $B_L$ 을 무시하면 공진주파수는 다음 식과 같다.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_{SH}}{J_M} + \frac{K_{SH}}{J_L}} \quad (3)$$

전동기토크에서부터 전동기속도와 부하속도, 부하외란토크에서부터 전동기속도와 부하속도까지의 전달함수는 각각

$$\frac{\omega_M(s)}{T_M(s)} = \frac{J_L s^2 + K_{SH}}{J_M J_L s^3 + K_{SH}(J_M + J_L)s} \quad (4)$$

$$\frac{\omega_L(s)}{T_M(s)} = \frac{K_{SH}}{J_M J_L s^3 + K_{SH}(J_M + J_L)s} \quad (5)$$

부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한 2관성계의 H<sub>∞</sub>제어

$$\frac{\omega_M(s)}{T_L(s)} = \frac{K_{SH}}{J_M J_L s^3 + K_{SH}(J_M + J_L)s} \quad (6)$$

$$\frac{\omega_L(s)}{T_L(s)} = \frac{J_L s^2 + K_{SH}}{J_M J_L s^3 + K_{SH}(J_M + J_L)s} \quad (7)$$

이고, 전동기관성  $J_M$ 이 0.008 [kgm<sup>2</sup>], 부하관성  $J_L$ 이 0.08 [kgm<sup>2</sup>]이고 축비틀림상수  $K_{SH}$ 가 78.16 [Nm/rad]인 경우 이에 대한 이득보드선도는 그림 3, 그림 4와 같다. 이득보드선도에서 peak는 2관성 공진계의 공진주파수이고, valley는 반공진주파수이다.

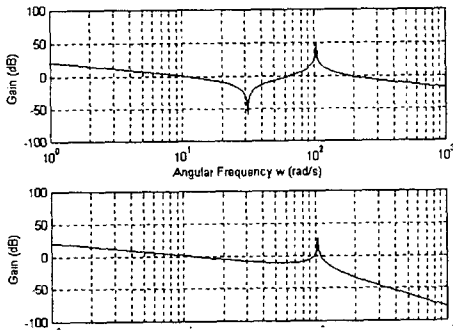


그림 3. 전동기토크에서 전동기속도(상)와 부하속도(하)까지의 이득보드선도

Fig. 3. Gain bode diagrams of  $\frac{\omega_M(s)}{T_M(s)}$  (upper) and  $\frac{\omega_L(s)}{T_M(s)}$  (down)

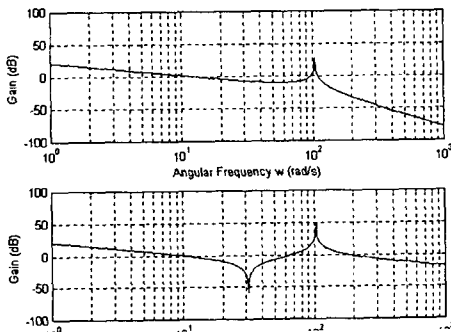


그림 4. 부하외란토크에서 전동기속도(상)와 부하속도(하)까지의 이득보드선도

Fig. 4 Gain bode diagrams of  $\frac{\omega_M(s)}{T_L(s)}$  (upper) and  $\frac{\omega_L(s)}{T_L(s)}$  (down)

그러므로 공진주파수인 103.67 [rad/s] 부근에서 전달함수 이득이 급격히 커지는 부분이 존재하므로 시스템이 불안정해 지는 것을 알 수 있다.

제어대상인 2관성 공진계의 제어량은 부하속도  $\omega_L$ 이지만 일반적으로 계측 불가능하므로, 계측 가능한 전동기속도  $\omega_M$ 을 제어하여 다음과 같은 제어 목적을 실현한다.

- (1) 축비틀림진동을 억제한다.
- (2) 속도지령의 변화에 대하여 부하속도를 오버슈트 없이 빠르게 추종하도록 한다.
- (3) 부하외란의 변동에 대하여 전동기속도 및 부하속도의 변동을 작게 하며 스텝상의 부하외란 변동에 대하여 정상편차를 0으로 한다.

### 3. 2관성계에 대한 H<sub>∞</sub>제어기 설계

#### 3.1 H<sub>∞</sub>제어이론의 2관성계에의 적용

2관성계에 대하여 H<sub>∞</sub>제어이론을 적용하기 위하여 그림 5와 같이 일반화플랜트를 설정한다. 그림 5에 있어서

$$C_z = \begin{pmatrix} C_p \\ C_p - C_l \\ C_l \end{pmatrix}, z_1 = \begin{pmatrix} z_{11} \\ z_{12} \\ z_{13} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega_M \\ \omega_M - \omega_L \\ \omega_L \end{pmatrix}$$

$$\text{단, } C_p = (1 \ 0 \ 0), C_l = (0 \ 0 \ 1) \quad (8)$$

$T_L$ 은 부하외란토크,  $n$ 은 속도지령치,  $W_d$ 와  $W_n$ 은 이를 위한 가중함수이다.

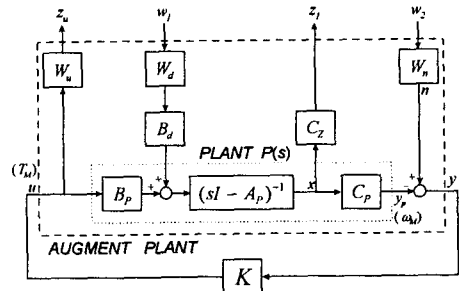


그림 5. H<sub>∞</sub>제어 일반화플랜트  
Fig. 5. Augmented plant of H<sub>∞</sub> control

가중함수를

$$W_d = \begin{bmatrix} A_{wd} & B_{wd} \\ C_{wd} & D_{wd} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$W_n = \begin{bmatrix} A_{wn} & B_{wn} \\ C_{wn} & D_{wn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$W_u = D_{wu} \quad (11)$$

로 정의하면, 그림 5의 일반화플랜트의 상태공간표현과 입력과 출력의 관계  $G$ 는 다음 식과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ z \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B_1 & B_2 \\ C_1 & 0 & D_{12} \\ C_2 & D_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ w \\ u \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$G = \begin{bmatrix} A & B_1 & B_2 \\ C_1 & 0 & D_{12} \\ C_2 & D_{21} & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$= \begin{bmatrix} A_p & 0 & B_d C_{ww} & 0 & B_d D_{wu} & B_p \\ 0 & A_{wn} & 0 & B_{wn} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{ww} & 0 & B_{ww} & 0 \\ \hline C_z & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{wu} \\ \hline -C_p & C_{wn} & 0 & D_{wn} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

이와 같은 식  $G$ 는 가중함수  $W_d$ ,  $W_n$ ,  $W_u$ 를 적절히 선택하여 구할 수 있고, 제어기  $K$ 는 Matlab에 의하여 구한다.

### 3.2 가중함수의 설정

그림 5의  $H_\infty$  제어 일반화플랜트에서 가중함수  $W_d$ 는 부하 외란토크  $T_L$ 로부터 전동기속도, 부하속도 및 그것들의 차속도까지의 페루프 전달함수의 계인특성을 지정하는 가중함수이다. 이 페루프 전달함수를 비틀림 진동이 없는 1관성계의 계인특성 형태로 주파수 정형할 수 있다면 축비틀림진동은 억제

가능하다. 따라서 가중함수  $|W_d|^{-1}$ 가 1관성계의 계인특성 형태로 되도록 가중함수  $W_d$ 를 다음 식으로 설정한다.

$$W_d = \gamma_d \frac{(s + \omega_d)^2}{(s + 10^{-4})(s + 10^5)} \quad (14)$$

위 식에서 주어진 가중함수의 계인특성  $|W_d|^{-1}$ 는 그림 6과 같다.

가중함수  $W_n$ 은 고주파대역에 있는 관측노이즈와 모델화 오차에 대한 영향을 제거하기 위해,  $W_n$ 은 고역특성을 가지도록 한다.  $W_n$ 은 일반적으로 혼합감도문제의 상보감도함수에 대한 가중함수에 해당하고 이것에 따라 식을 설정하면 다음 식과 같다.

$$W_n = \gamma_n \frac{(s + 100)}{(s + 10^5)} \quad (15)$$

위 식에서 주어진 가중함수의 계인특성  $|W_n|^{-1}$ 은 그림 6과 같이 저역필터 형태가 된다.

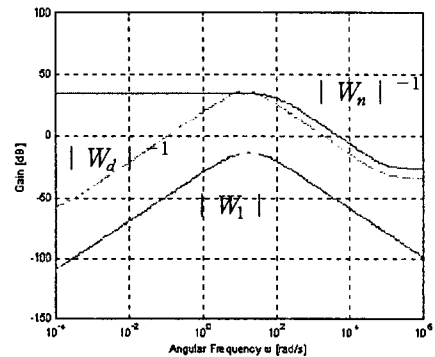


그림 6. 가중함수의 보드선도  
Fig. 6. Bode diagram of weights

식 (14)와 식 (15)의 변수  $\gamma_d$ ,  $W_d$ ,  $\gamma_n$ 을 적절히 설계하고 Matlab을 사용하여  $H_\infty$  제어기  $K(s)$ 를 구할 수 있다.  $\gamma_d = 50$ ,  $W_d = 15$ ,  $\gamma_n = 20$ 인 경우의 제어기  $K(s)$ 를 구하였다.

### 4. 부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한 H<sub>∞</sub>제어

#### 4.1 부분적인 상태궤환을 이용한 H<sub>∞</sub>제어

기존의 2자유도 H<sub>∞</sub>제어기[4]는 목표치응답특성이 양호하나 2자유도 제어기 설계의 어려움과 제어기가체가 복잡해지는 단점이 있어 실제로 구현시 많은 연산량이 요구되어진다.

이러한 단점을 해결하기 위하여, Minor 루프가 목표치응답시 Damping을 증가시켜 오버슈트를 없애고 목표치응답을 개선할 수 있다는 점에 착안하여, 측정할 수 있는 상태변수를 피드백 하여 Minor 루프를 형성함으로써 그림 7과 같은 목표치응답특성을 개선할 수 있는 제어기를 제안한다.

그림 7은 기존의 H<sub>∞</sub>제어기에 측정 가능한 상태변수인 전동기속도 ω<sub>M</sub>과 토크분 전류 I를 피드백 하여 minor 루프를 구성한 형태이다. K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>는 피드백 제어기로, H<sub>∞</sub>제어기 K(s)는 피드포워드 제어기로 구성된 2자유도 제어기의 형태로 볼 수 있다. K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>는 상수 게인이므로 기존의 2자유도 H<sub>∞</sub>제어기[4]보다 간단하고 연산량을 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다.

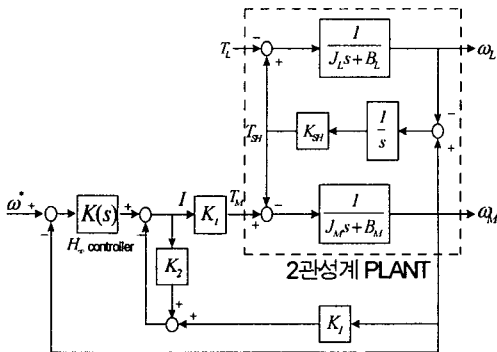


그림 7. 부분적인 상태궤환을 이용한 H<sub>∞</sub>제어기  
Fig. 7. H<sub>∞</sub> controller using partial state feedback

#### 4.2 피드백 게인 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> 설정

게인 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>의 설정을 위하여 그림 7의 파라메

타를 각각 J<sub>M</sub>= 0.008, J<sub>L</sub>= 0.08, K<sub>SH</sub>= 78.16으로 하고, 토크분 전류에 대한 토크상수를 K<sub>T</sub>= 2.2365, H<sub>∞</sub>제어기를 K(s)로 하면, 속도지령치 ω\*에서 부하속도 ω<sub>L</sub>까지의 전달함수의 특성방정식은 다음과 같은 형태이다.

$$F(s) = a_9 s^9 + a_8 s^8 + a_7 s^7 + a_6 s^6 + a_5 s^5 + a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s^1 + a_0 \quad (16)$$

특성방정식인 식 (16)에서 제어대상 플랜트를 불안정하게 하는 양의 실수부분을 갖는 해가 없기 위한 조건은 모든 계수(a<sub>9</sub>, ..., a<sub>0</sub>)의 부호가 같아야 한다. 이 조건을 이용하여 피드백 게인 K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>의 영역을 구한다. 이 영역 내에서 시뮬레이션을 통해 구한 최적의 게인은 K<sub>1</sub>= 0.6, K<sub>2</sub>= 0.5이다.

#### 4.3 공진비제어 적용

2관성계에 공진비제어라는 개념을 도입한다. 공진비제어를 갖는 2관성계의 블록선도는 그림 8과 같다. 공진비제어는 축비틀림토크 T<sub>SH</sub>를 게인 K<sub>R</sub>에 비례시켜 피드백 시킴으로써 전동기의 관성을 가상적으로 변동시키는 제어방법이다. 축비틀림토크가 외란을 포함하기 때문에 제어대상에 의하여 축비틀림을 억제하는 작용을 할 수 있다. 즉 과도시의 진동을 억제시키는 효과가 있다.

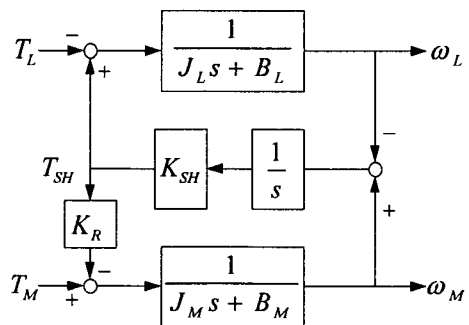


그림 8. 공진비제어를 갖는 2관성계의 블록선도  
Fig. 8. Block diagram of 2-mass system with resonance ratio control

## 5. 모의실험

본 논문에서는 부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한 2관성계의  $H_{\infty}$ 제어를 제안하였고 기존의  $H_{\infty}$ 제어와 비교하여 모의실험 하였다. 실험시 관성비가 클수록 그 효과가 확실히 나타나므로 모의실험에서는 관성비를 0.008 : 0.08로 하였다. 축비틀림상수는  $K_{SH} = 78.16$  [Nm/rad]으로 하였다. 모의실험은 속도제어 모의실험과 부하인가 모의실험으로 나누어서 실시하였다.

### 5.1 속도제어 모의실험

속도제어 모의실험으로는 전동기를 무부하의 정상 상태에서 600[rpm]의 속도지령을 스텝 인가한다.

그림 9는 기존의  $H_{\infty}$ 제어에 대한 모의실험결과이다. 속도지령 증가 시에 토크분 전류는 +15 [A], -15 [A]로 제한되고 있으며  $H_{\infty}$ 제어의 특성상 속도지령에의 도달 후에 50% 이상의 오버슈트가 발생되고 있다. 오버슈트에 따라 토크분 전류가 -15 [A]까지 도달되고 있는데 이 경우 축비틀림 토크도 운동방향과 반대방향으로 걸리므로 비틀림축에 무리를 줄 수 있다.

그림 10은 부분적인 상태궤환을 이용한  $H_{\infty}$ 제어의 모의실험결과이다. 속도지령에 도달하기까지의 응답시간은 0.4초로 기존의 제어기보다 우수함을 알 수 있다. 이는 측정 가능한 변수인 전동기의 속도와 토크분 전류를 보상하여 줌으로써 2자유도 제어가 가능하게 되었고 이에 따라 오버슈트 없이 제어한 결과이다. 토크분 전류도 -3 [A] 정도에서 억제되어 비틀림축에 인가되는 축비틀림 토크를 줄일 수 있게 되었다.

부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한  $H_{\infty}$ 제어의 결과는 공진비제어를 외란인가 후에 적용하므로 그림 10과 같다.

모의실험결과와 같이 제안하는 부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한  $H_{\infty}$ 제어는 기존의  $H_{\infty}$ 제어보다 응답시간이 빠르며 오버슈트도 발생되지 않아 비틀림축에 무리를 주지 않음을 알 수 있다.

### 5.2 부하인가 모의실험

부하인가 모의실험에서는 600[rpm]의 무부하 일

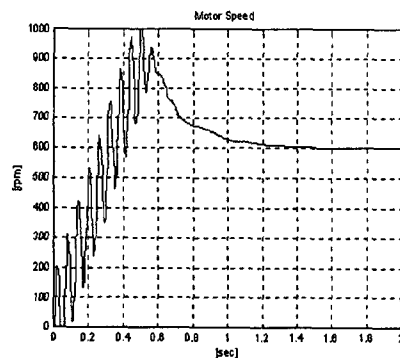
정속도하에서 순간적으로 100%에 해당하는 12.1 [Nm]의 외란을 2관성계에 인가한다.

그림 11은 기존의  $H_{\infty}$ 제어에 대한 모의실험결과이다. 외란이 인가된 경우 전동기속도는 약 566[rpm]까지 떨어져 5.7% 하강하며 1.0초 후에 회복된다. 부하속도는 약 554[rpm]까지 떨어져 7.7% 하강하며 1.0초 후에 회복된다. 토크분 전류는 8.9[A]가 걸린 후 감소하여 5.4[A]에서 안정된다.

그림 12는 부분적인 상태궤환을 이용한  $H_{\infty}$ 제어의 모의실험결과이다. 외란 후 전동기속도는 약 570[rpm]까지 떨어져 5.0% 하강하며 1.8초 후에 회복되며, 부하속도는 약 562[rpm]까지 떨어져 6.3% 하강한다. 이 결과로 기존의  $H_{\infty}$ 제어보다 전동기의 속도는 0.7%, 부하속도는 1.4%의 외란억압효과가 더 있음을 알 수 있다. 이것은 부분적인 상태궤환을 추가함으로써 2자유도 형태가 되어 외란억제 효과가 있다. 토크분 전류도 최대값이 7.5[A]로 감소되어 축에 무리를 작게 준다.

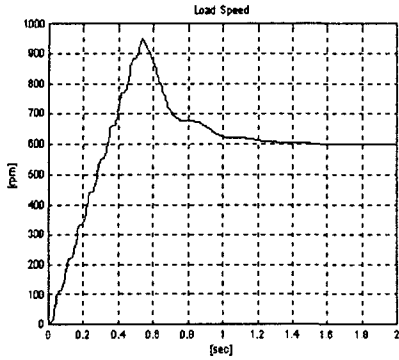
그림 13은 부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한  $H_{\infty}$ 제어의 모의실험결과이다. 외란 후 전동기속도는 약 574[rpm]까지 떨어져 4.3% 하강하며 1.8초 후에 회복되며, 부하속도는 약 567[rpm]까지 떨어져 5.5% 하강한다. 공진비제어를 추가함으로써 외란이 더 억제됨을 알 수 있다.

모의실험결과와 같이 제안하는 제어법은 기존의  $H_{\infty}$ 제어보다 전동기의 속도는 1.4%, 부하속도는 2.2%의 부하외란억제효과가 있고 축에의 비틀림을 감소시킨다.

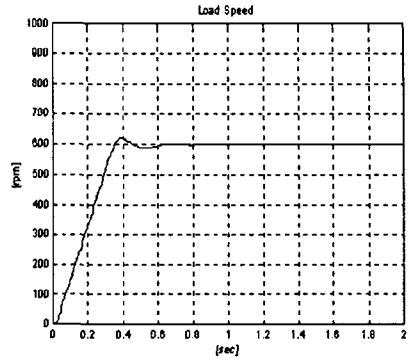


(a) 전동기속도(100 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(a) Motor speed

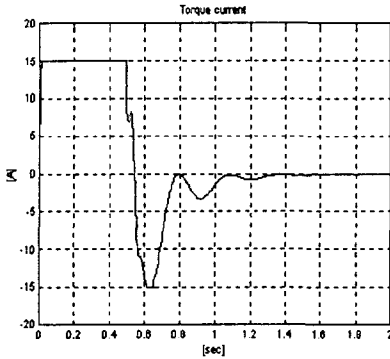
부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한 2관성계의 H<sub>∞</sub>제어



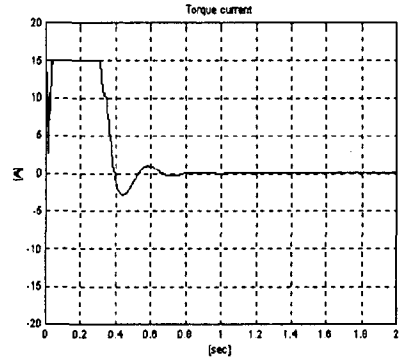
(b) 부하속도(100 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(b) Load speed



(b) 부하속도(100 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(b) Load speed



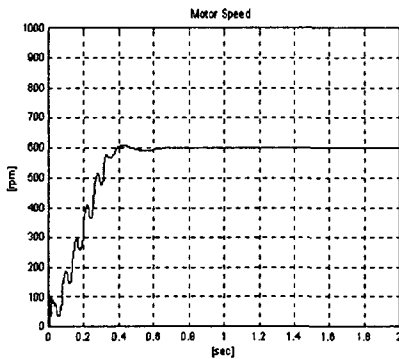
(c) 토크분 전류(5 [A]/div, 0.2 [sec]/div)  
(c) Torque current



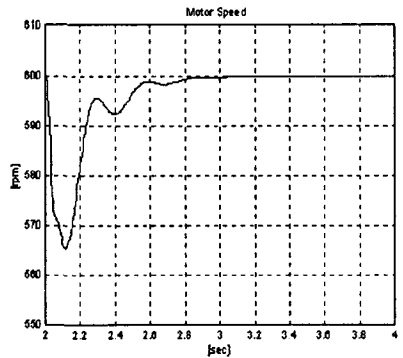
(c) 토크분 전류(5 [A]/div, 0.2 [sec]/div)  
(c) Torque current

그림 9. 기존의 H<sub>∞</sub>제어  
Fig. 9. Conventional H<sub>∞</sub> control

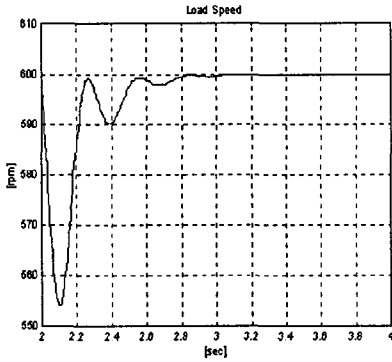
그림 10. 부분적인 상태궤환을 이용한 H<sub>∞</sub>제어  
Fig. 10. H<sub>∞</sub> control using partial state feedback



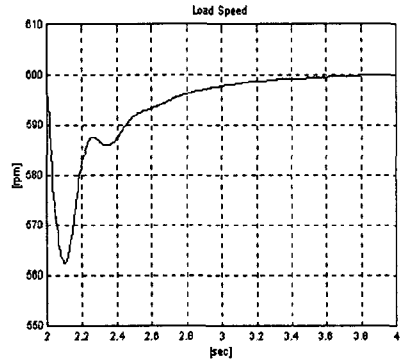
(a) 전동기속도(100 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(a) Motor speed



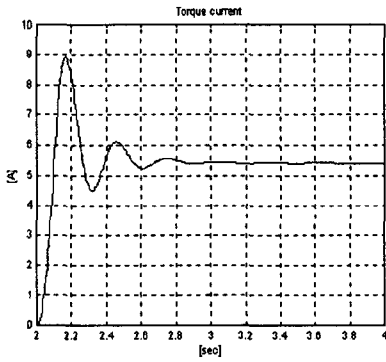
(a) 전동기속도(10 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(a) Motor speed



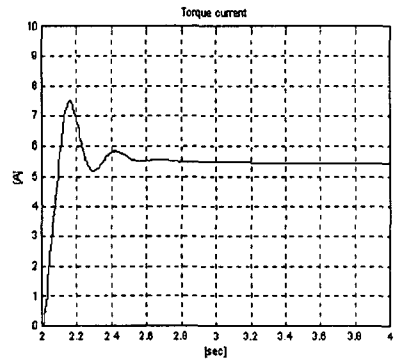
(b) 부하속도(10 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(b) Load speed



(b) 부하속도(10 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(b) Load speed



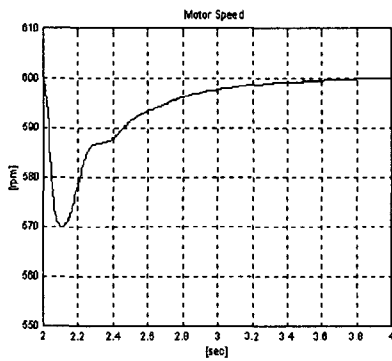
(c) 토크분 전류(1 [A]/div, 0.2 [sec]/div)  
(c) Torque current



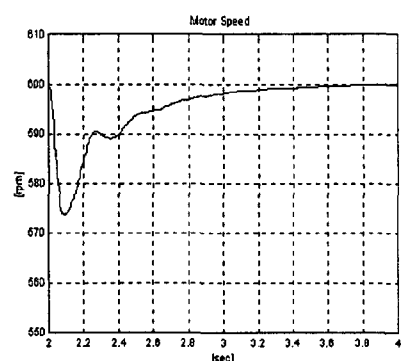
(c) 토크분 전류(1 [A]/div, 0.2 [sec]/div)  
(c) Torque current

그림 11. 기존의  $H_\infty$  제어  
Fig. 11. Conventional  $H_\infty$  control

그림 12. 부분적인 상태궤환을 이용한  $H_\infty$  제어  
Fig. 12.  $H_\infty$  control using partial state feedback



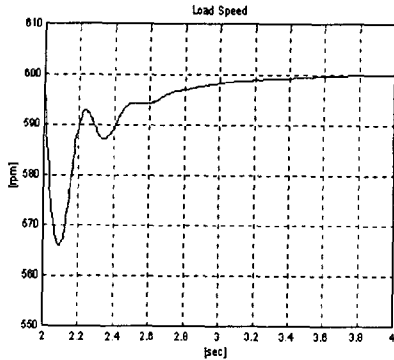
(a) 전동기속도(10 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(a) Motor speed



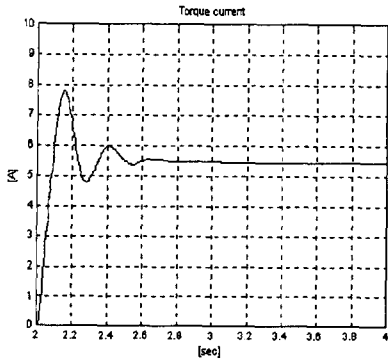
(a) 전동기속도(10 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(a) Motor speed



부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한 2관성계의  $H_\infty$  제어



(b) 부하속도(10 [rpm]/div, 0.2 [sec]/div)  
(b) Load speed



(c) 토크분 전류(1 [A]/div, 0.2 [sec]/div)  
(c) Torque current

그림 13. 부분적인 상태궤환과 공진비제어를 이용한  $H_\infty$  제어

Fig. 13.  $H_\infty$  control using partial state feedback and resonance ratio control

6. 결 론

본 논문에서는 2관성계 시스템에서 목표치추종특성과 외란억압특성을 동시에 만족하는 새로운 제어법을 제안하였다. 기존의  $H_\infty$  제어는 외란에는 강인하지만 목표치응답특성시 오버슈트가 발생되어 비틀림축에 무리한 토크를 가하게 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 측정 가능한 상태량인 전동기속도와 토크분 전류를 피드백 하여 보상함으로써 목표치추종성능을 개선하고 제어기의 구조도 간단해질 수 있는 부분적인 상태궤환을 이용한 2관성계의  $H_\infty$  제어

를 제안하였다. 또한 이 제어법에 공진비제어를 부가하여 외란에 대하여도 개선된 새로운 제어법을 제안하였다. 제안된 제어법이 간단하면서도 좋은 성능을 가짐을 모의실험을 통하여 확인하였다.

References

- [1] 杉林 道彦 外 2人, "2慣性共振系の状態フィードバックによる振動抑制制御とパラメータ変動を考慮した制御特性", 日本電気學會 産業應用部門全國大會, pp. 843~848, 1993.
- [2] J. S. Kim, et al., "The Vibration Suppression Control of the Two-Mass Resonant system using the  $H_\infty$  Filter", IEEE IECON, Vol. 3, pp. 1464~1470, 1998.
- [3] 結城和明 外 2人, "共振比制御による2慣性共振系の振動抑制制御", 日本電気學會論文誌, Vol.113-D, No. 13, 1993, pp. 1162~1169.
- [4] 森本茂雄 外 1人, " $H_\infty$ 制御理論を用いた共振機械系の2自由度速度制御", 日本電気學會論文誌, Vol.116-D, No. 1, pp. 65~70, 1996.

◇ 저자소개 ◇

김진수 (金珍洙)

1962년 6월 21일생. 1989년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1991년~1995년 LG산전(주) 연구소 주임연구원. 현재 용인송담대학 전기정보과 전임강사.

유상봉 (庾相鳳)

1954년 10월 26일생. 1980년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1979년~1998년 쌍용양회공업(주), 쌍용엔지니어링(주) 부장. 현재 용인송담대학 전기정보과 부교수. 당학회 사립이사.