

## 외란관측기를 이용한 2관성계의 반폐회로 제어 (Semiclosed Control of 2 Inertia System By Disturbance Observer)

\*이건복(승실대학교), \*\*최순필(승실대학교)

\*Gun Bok Lee(Soongsil University),

\*\*Soon Pil Choi(Soongsil University)

### ABSTRACT

Motion control system using motor generally consists of 2 inertia system, motor inertia and load inertia linked with flexible coupling. In the case of direct drive motor control, the effect of coupling inertia decrease the precision performance. The study is about semiclosed control scheme of the system and experimental setup. To compensate the effect of coupling inertia, semiclosed control system by disturbance observer is employed. The simulation result is shown.

### 1. 서론

산업용 DC서보모터를 제어하는 것은 제어를 행하는데 있어 가장 기본적이고도 중요한 문제이다. 통상 수학적으로 분명히 기술되는 시스템을 찾는 것은 용이하지 않은 일이다. 그런 의미에서 모터는 명확한 미분 방정식으로 기술되며 제어공학에 흥미를 가진 많은 사람의 관심의 대상이 되었다. 실제 시스템의 경우 고려하는 플랜트의 정확한 동특성이나 성능 사양을 알아내기가 매우 힘들기 때문에 이러한 플랜트를 제어하는 일 또한 쉽지 않다.

일반적인 제어의 경우 서보모터에 직결한 센서에 의해서 제어를 수행한다. 플랜트와 서보모터의 체결이 강인하면 서보모터만의 정보에 의해서 피드백제어가 잘 수행되나 플랜트의 체결이 유연(flexible)하면 이는 시스템에 영향을 미치게 되어 제어성능을 떨어뜨리는 결과를 초래한다.

공작기계나 기타 서보모터를 사용하는 시스

템에서 실제 모터와 연결된 축이 아주 큰 강성을 갖지 않으면 모터와 연결된 시스템에 부하변동이 외란 입력으로 작용하게 된다. 이 외란의 영향이 시스템자체 성능에 영향을 미쳐 아무리 잘 설계된 플랜트와 보상기를 삽입하여도 출력은 제어입력을 제대로 추종할 수 없게 된다. 물론 이 부하변동의 동특성 또한 알려진 정보는 없다. 이 경우 모터 자체의 관성과, 연결된 부하의 관성으로 인해 2관성계가 이루어진다. 제어의 최종목적이 되는 부하속도, 축 비틀림 토크 및 부하외란 토크와 같은 양들을 실제 시스템에서 측정하기란 쉽지 않은 일이다. 따라서 2관성계에서는 외란의 영향으로 인해 모터의 동특성만을 고려한 제어방식으로 원하는 출력응답을 얻기 힘들다는 것은 주지의 사실이다. 이와같이 일반적인 경우 모터의 정보를 피드백하여 시스템의 전체 성능을 추정하는 경우 반폐회로가 이루어 지게 되고 반폐회로를 상정할 경우 시스템에 가해지는 끝단까지의 성분들은 부하변동량으로써 외란으로 간주될 수 있다.

이러한 외란의 영향을 파악하고 억제하기 위해 많은 연구가 수행되어 왔으며 외란을 억제하는 방법은 크게 다음과 같은 3가지 방법으로 구분된다.

- 고이득방식
- 가속도 제어방식
- 외란관측기 사용방식

본 연구에서는 시스템에 외란관측기를 사용하여 외란의 영향을 감소시킴으로써 목표입력에 대한 추종성능을 향상시키고자 한다. 제어기 설계순서로서는 먼저 주파수 응답법으로 모델링을

한후 보상기를 설계하고 이후 외란 관측기를 삽입한다. 외란 관측기는 기본형의 모델을 삽입한 이후 기본형의 모델을 적절히 변형하여 2관성계에 적용하여 주파수 응답법에 의한 설계와 비교함으로써 설계의 용이성, 구현성, 제어성능등 여러 가지 효과를 비교 고찰한다.

외란 관측기를 설계하는데 있어 먼저 제어대상 역모델을 고려해야 하고, 이 역 모델로부터 외란의 추정값을 얻어낼 수 있다. 이 추정값을 피드백하여 입력하면 다루고자 하는 2관성계 시스템에 적응하는 출력을 얻어낼 수 있다.

본 연구의 목적은 이러한 동특성등이 알려지지 않은 서보모터시스템의 부하변동을 외란으로 간주하고, 주파수 응답법과 근계적법으로 보상기를 설계하고 외란 관측기를 삽입하여 부하변동을 통한 외란의 영향을 억제하고 기준입력을 잘 추종하는 제어시스템을 설계하는 것이다.

## 2. 제어대상 시스템의 모델링

본 연구에서 제어대상으로 고려하는 플랜트는 산업현장에서 많이 쓰이는 DC서보모터와 커플링, 리드스크류, 관성부하등이 기구학적으로 일체화된 시스템이다. 실제 이러한 일체화된 시스템을 구성하는 각각의 요소를 동력학적으로 모델링하여 제어기 설계에 적용하는 것은 실용적이지 못하며 설계가 까다롭고 비용이 증가하는등 많은 난점을 지니고 있다. 이런 문제점들을 해결하기 위하여 많은 부분 현장에선 고려대상인 플랜트에 주파수 응답법을 통하여 근사화된 전달함수를 구하게 되고 이에 따라 제어기를 설계하게 된다.

### 2.1. DC 서보모터의 모델링

이론적으로 근사화된 전달함수 블록선도는 다음과 같다.

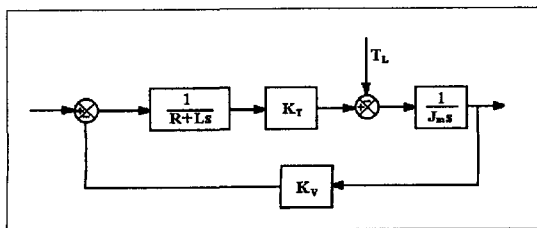


Fig 1. Schematic diagram of DC Motor

Fig 1.에서 외란은 관성부하의 영향이다. 이 플랜트를 주파수응답법을 통하여 다음과 같이 1차로근사화하여 플랜트를 모델링하였다.

$$G(s) = \frac{K_m}{\tau_m s + 1}$$

$K_m$ : motor ,  $\tau_m$ : motor time constant

2.2. 관성부하의 영향을 고려한 플랜트의 모델링  
실제모터에 적용되는 시스템의 개략도는 다음과 같다.

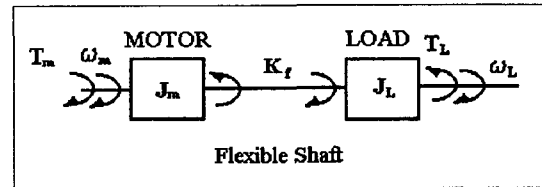


Fig 2. Schematic diagram of system

- $T_m$  : 모터의 구동토크
- $\omega_m$  : 모터의 회전각속도
- $J_m$  : 모터의 관성모멘트
- $K_f$  : flexible shaft의 탄성계수
- $T_L$  : 부하의 토크
- $\omega_L$  : 부하의 회전각속도
- $J_L$  : 부하의 관성모멘트

부하가 유연한축에 의해 연결되어 회전하므로 회전각속도  $\omega_m$ 과  $\omega_L$ 사이의 동특성을 고려해 주어야 한다.

DC모터와 연결된 관성부하의 영향을 고려한 시스템의 블록선도는 다음과 같다.

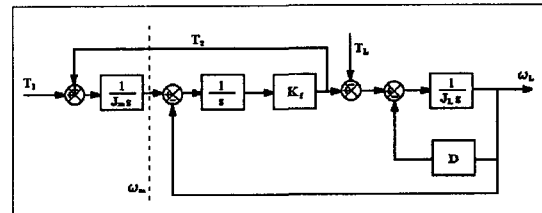


Fig 3. Motor and Disturbance

- $T_1$  : 모터구동토크
- $T_L$  : 외란
- $K_f$  : 플렉시블 커플링 스프링 상수
- $D$  : 부하댐핑

모터 구동속도는 모터 관성항을 통해 부하에

전달된다. 이때, 모터의 회전속도  $w_m$  와 부하측에서 관찰한 회전속도  $w_L$ 은 토크의 전달이 강제를 통해 이루어진다고 가정하지 않는한 같은 회전속도로 나타날 수 없다. 이후 제어기 설계에서는 Fig 3에서 점선의 오른쪽 부분에 위치한 관성 부하의 동특성을 외란입력  $T_L$ 로 간주하고 제어기를 설계할 것이다.

### 3. 제어기 설계

#### 3.1. 외란관측기

외란억제를 위해 외란관측기를 사용하였다. 관측기를 사용한 시스템의 블록선도는 다음과 같다.

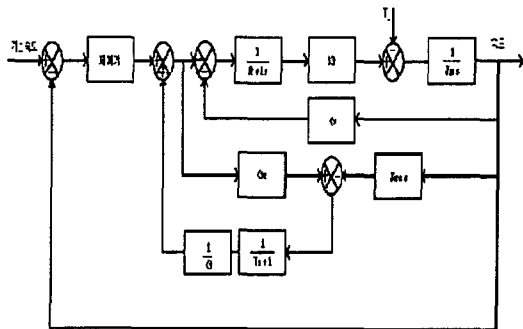


Fig 4. System of disturbance observer

외란관측기를 이용하면 시스템의 전달함수를 다음과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$Gc(s) \cdot Gp(s) = K_P + \frac{K_I}{s} \frac{K_{te}}{J_{me}s}$$

$$= \frac{K_P K_{te}(s + K_I)}{s^2 J_{me}}$$

#### 3.2. PI제어기의 설계

외란의 영향을 억제한 시스템의 전달함수에 맞는 PI제어기를 설계하여 위치제어를 시행한다. PI제어기를 이용한 시스템의 블록선도는 다음과 같다.

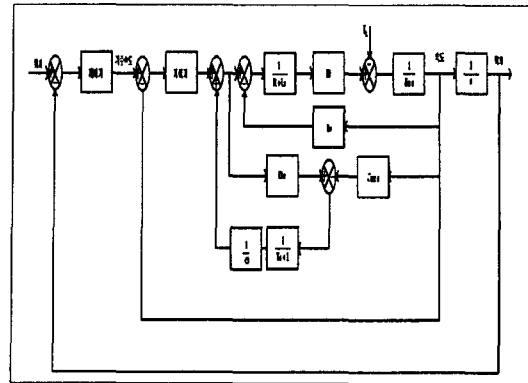


Fig 5. PI control with disturbance observer

### 4. 실험 및 실험결과

#### 4.1. 실험장치

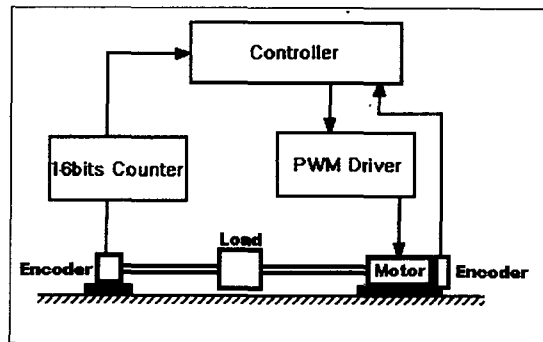


Fig 6. Schematic Diagram of System

제어 알고리즘 적용을 위해 콘트롤러는 Intel사의 16비트 80C196KC를 사용하였다. 유연한 커풀링을 통한 부하의 속도 및 위치검출을 위한 센서로는 1024해상도를 갖는 encoder를 사용하였으며 이의 신호검출을 위해 A, B상의 입력을 이용하여 4배의 해상도를 사용하게 해주는 HP사의 16비트 HTCL2020을 사용 4096pulse/rev를 갖는 시스템을 구현하였다.

모터의 속도 및 위치 검출을 위해서 240의 해상도를 갖는 encoder와 콘트롤러의 HSI(high speed input)을 사용하였다.

DC모터구동을 위해서는 PWM을 이용 풀브리지형 스위칭드라이버인 L298을 사용하였다.

#### 4.2. 결과 및 고찰

다음 그림은 결과의 응답선도이다. Fig 6은 외란

관측기가 삽입되지 않은 시스템의 스텝응답선도이다. 외란으로 입력시켜준 사인파의 영향이 출력으로 나타남을 알 수 있다.

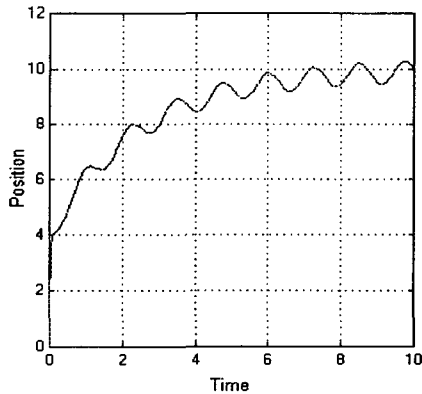


Fig 7. Step response

외란 관측기를 설계하여 삽입 했을때의 영향은 Fig 8과 같다.

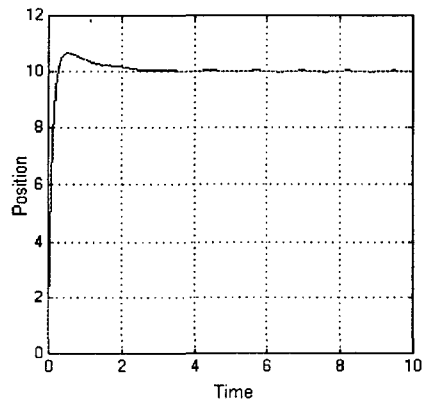


Fig 8. Step response  
with disturbance observer

외란의 영향은 억제되고, 응답이 입력을 잘 추종하고 있음을 보여주고 있다.

#### 4.3. 결 론

부하변동이 외란으로 작용하는 경우에도 외란관측기를 통해 외란을 억제하고 시스템 출력을

안정화 시킬 수 있는 제어기를 설계할 수 있음을 보였다.

이후 부하변동의 항을 다양한 입력으로 적용시켜 줌으로써 외란의 영향이 미치는 주파수 대역을 고려하고, 요구되는 성능사양을 만족하는 시스템을 설계할 수 있다.

#### 5. 참고문헌

[1] Katsuhiko Ogata, 현대제어공학 3판, 사이텍미디어, 1999

[2] Katsuhiko Ogata, Discrete Time Control System second edition, Prentice Hall, 1995

[3] Karl Johan Aström and Tore Hägglund, Automatic Tuning of PID Controllers, Instrument Society of America, 1988

[4] 신정호, Takamasa Hori, 외란억제버를 이용한 직접구동형 로봇의 강인한 운동제어, 전기학회 논문지 44권 3호, 1995

[5] 최정수, 2관성계 전동기 구동을 위한 견실한 속도제어 시스템에 관한 연구, 전기학회 논문집 47권 10호, 1998