

산업용 AC 서보 모터의 부하변동에 따른 정밀위치 제어 연구

김현식*, 고종선*, 최현중**, 김성락**
단국대학교*, 현대중공업**

Precision Position Control of Industrial AC Servo Motor according to Load Variation

H. S. Kim, J. S. Ko, H. J. Choi, S. R. Kim
HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD., DANKOOK UNIVERSITY

ABSTRACT

최근 산업현장에서 작업의 정밀도에 대한 요구가 높아지면서 산업용 로봇의 정밀위치제어에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 정밀 위치제어가 요구되는 산업용 로봇에서 외란은 로봇의 성능에 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나이다. 본 논문에서는 다관절 로봇에 사용되는 AC서보 모터의 고강성 정밀 위치제어를 위해 외란 변화에 대한 강인한 제어를 할 수 있는 외란 관측기와 파라미터 변동에 따른 보상 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션과 실험을 통해 외란 변화에 대해 정밀한 위치제어가 가능함을 보였다. 또한, 다관절 로봇의 각 축에 적용되고 있는 AC서보 모터의 PID 제어기와 제안된 알고리즘과의 비교를 통해 부하 변동에 따른 두 제어기의 차이점을 보였다.

1. 서 론

최근 제조현장에서 작업의 정밀도에 대한 요구가 높아지면서 산업용 로봇의 정밀 위치제어에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 산업용 로봇에 사용되는 영구자석 동기 전동기의 정밀 위치제어의 방법으로 상태궤환제어기(state feedback controller)와 데드비트 부하 토크 관측기(deadbeat load torque observer)를 이용한 외란 보상방법을 통해 위치 응답 특성을 개선하는 시스템을 제안하였다. 본 논문에 사용된 외란 관측기는 이미 선행연구로 알려진 데드비트 외란 관측기를 이용하였다[2]. 이와 같이 제안된 제어기는 외란에 의한 변화를 갖는 시스템에서 정밀 위치제어를 할 수 있으며, 이의 안정성과 효율성을 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션과 실제 다관절 로봇의 각 축에 적용되고 있는 AC서보 모터에 적용하여 보았다.

2. 제어 알고리즘

2.1 상태 궤환 제어 알고리즘

Integral control을 위해서 추가 상태를 식 (1)과 같이 위치 제어기의 출력 i_{qc1} 에 해당되는 제어 규칙은 식 (2)과 같이 정할 수 있다.

$$\dot{z} = \theta - \theta_r \quad (1)$$

$$u = (k_1\omega + k_2\theta + k_3z) \quad (2)$$

디지털 제어를 위해서 “A/D, D/A 변환기는 완전히 동기, 변환 시간은 무시될 정도로 작고 샘플링 시간 사이의 값은 일정해 샘플링 시간은 일정”과 같은 가정을 만족하면 이산 상태 방정식으로 표현할 수 있다[3].

정상 상태 오차는 다음 제어 입력에 의해 제어되어진다.

$$u(k) = Kx(k) \quad (3)$$

그러나, 외란에 의한 오차를 빨리 줄이기 위해서는 큰 궤환 이득이 필요하게 되며, 이것은 매우 큰 전류를 만들게 된다. 만일 부하 토크 T_L 을 알게 되면, $T_L = k_t i_{qc2}$ 에 의하여 등가 전류 i_{qc2} 를 구할 수 있으며 외란의 보상 입력을 생성할 수 있다. 따라서 제어 입력 i_{qc} 는 위치 제어기 출력 i_{qc1} 과 등가 전류 i_{qc2} 로 구성된다. 외부 외란의 영향은 등가의 q 상 전류로 정궤환(feed forward)하여 보상한다.

2.2 외란 관측기 및 MA필터

일반적으로 시스템의 모든 입력을 알면 상태 추정을 할 수 있다. 그러나, 실제 시스템에서 많은 경우에 몇몇 입력은 정확한 값을 알 수 없거나 찾아내기 힘든 경우가 있다. 빠른 샘플링에 의해 외란은 구간상수로 가정할 수 있으므로 다음과 같은 식 (4), (5)의 0차 관측기에 의해 추정 가능하다[2]. 디지털 구현을 위해 라플라스 변환법[2]을 이용하여 이 식을 이산 방정식으로 바꾸어서 사용하였다.

$$T_L = 0 \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{\omega}} \\ \dot{\hat{\theta}} \\ \dot{\hat{T}}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B}{J} & 0 & -\frac{P}{2J} \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{\theta} \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_t \frac{P}{2J} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} i_{qs} + L \left(\theta - [0 \ 1 \ 0] \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{\theta} \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} \right) \quad (5)$$

이때 L 은 3×1 의 피드백 행렬이다. 전체 시스템 응답 시간보다 빠르게 부하 토크를 계산하고 과도 응답에서 부하토크 보상을 위해 데드비트 관측기를 사용한다. 데드비트의 극점 정의에 의해 극점을 z도메인의 0점에 정의하여 궤환 이득은 $L = P(\Phi)W_0^{-1}[0 \ 0 \ \dots \ 1]^T$ 의 Ackermann공식에 의해 얻을 수 있다. 또한 데드비트 관측기의 단점인 잡음 증폭문제는 정

보 저감이 적은 후단 필터를(post filter) 사용하였고 여기에 MA처리를 하여 고주파 잡음을 저감하였다[3].

제어 입력 i_{qc} 는 추가된 상태 궤환에서 i_{qc1} 과 데드비트 외란 관측기의 출력 i_{qc2} 를 합해서 구하게 된다. 이상의 알고리즘 블록선도를 그림 1에 나타내었다.

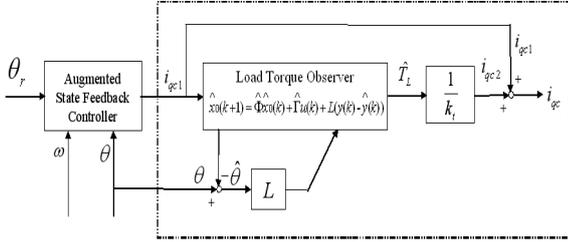


그림 1 제안된 알고리즘의 블록선도
Fig.1 Block diagram of the proposed

4. 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용된 영구자석 동기 전동기의 파라미터를 표1에 나타내었다.

표 1. 모터 파라미터 (TS1303)
Table 1 Motor parameters (TS1303)

$R_s(\Omega)$	1.0	Poles	8
$K_t(N\cdot m/A)$	0.524	$B(N\cdot m)$	0.2751
$L_d = L_q$	7.1	$K_e(V/(r/min))$	$55.92 \cdot 10^{-3}$
$J(kg\cdot m^2)$	$0.399 \cdot 10^{-3}$	Mechanical time constant	1.45 ms

샘플링 주기 T_s 는 05 [ms]이다. 원하는 목표 도달시간과 과도응답이 없는 가중 행렬(weighting matrix)은 $Q = \text{diag}[0.1 \ 50 \ 5000]$, $R=1$ 로 선택하여 최적 이득 행렬을 구하면 $k = [0.0140 \ 0.7015 \ 5.4823]^T$ 가 되며, Dead beat 관측기 이득 $L = [9623.9 \ 2.7000 \ 275.00]^T$ 가 된다.

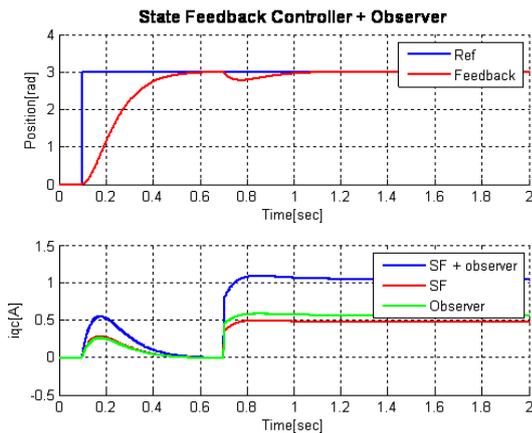


그림 2 추가 상태 궤환, 외란 관측기를 이용한 위치응답(외란)
Fig. 2 Augmented state feedback,
Load torque observer position response (Disturbance)

정적 부하토크의 외란이 인가된 경우인 그림 3은 추가 상태 궤환 제어기와 외란관측기를 사용했을 때 위치응답에 대한 결과를 나타낸다. 영구자석 동기 전동기의 위치제어에서도 그 응답이 매우 강인함을 확인 할 수 있다.

5. 실험 및 결과

그림 4는 부하를 장착한 다관절 로봇의 단축에 대해서 제안한 제어기와 기존 PID제어의 위치 응답 특성을 비교한 결과이다. 실험 결과 상태 궤환 제어기에서 관측기를 추가한 경우 기존 제어기에 비해 부하 변동에 따른 위치 응답 특성이 우수함을 확인할 수 있다.

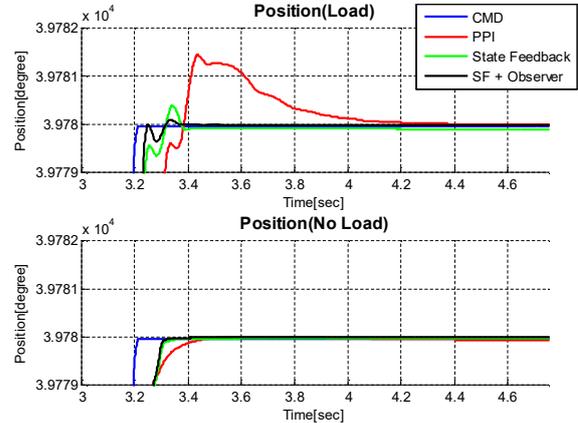


그림 3 TS1303의 위치 응답(부하)
Fig. 3 TS1303 position response (load)

표 2 위치 응답 특성(부하)
Table 2 Maximum Overshoot(Mp)

구분	Maximum Overshoot(%)
PPI	0.0037
SF(State Feedback)	0.0011
SF+Ob(Observer)	0.0003

6. 결론

본 논문은 외란 관측기를 이용하여 외란 변화에 강인한 위치제어 알고리즘을 제시하였으며, 제안된 알고리즘은 시뮬레이션을 통하여 그 결과를 확인하였다. 그리고 산업용 다관절 로봇에 사용하는 AC 서보 모터에 적용을 하였으며, 단축에 대해서 위치 응답 특성이 우수함을 확인하였다. 또한, 향후 각축에 대한 모터 게인 튜닝을 통해 로봇의 궤적 정밀도에 대한 평가가 이루어져야 하겠다.

참고 문헌

- [1] J. S. Ko, J. H. Lee, S. k. Chung, and M. J. Youn "A Robust Position Control of Brushless DC motor with Dead Beat Load Torque Observer" IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol. 40, no. 5, pp. 512 520, 1993
- [2] J. S. Ko, T. H. Lee, C. W. Jeon, S. S. Lee "Precision Speed Control of PMSM Using Distrubance Observer and Parameter Compensator", Transaction on KIPE, Vol. 6. No. 1, pp. 98 106, 2001.
- [3] J. S. Ko, T. H. Lee, B. L. Park, and C. W. Jeon " Precision Speed Control of PMSM for Stimulation of the Vestibular System Using Rotatory Chair" Transaction on KIPE, Vol. 5. No. 5, pp. 459 466, 2000.