

# 부하변동에 강인한 유도전동기 속도제어

박래관<sup>o</sup> 현동석  
한양대학교 전기공학과

## Robust Speed Control of Induction Motor Using Load Torque Observer

Rae-Kwan Park Dong-Sook Hyun  
Dept. of Electrical Eng. Hanyang Univ.

### Abstract

This paper proposes a robust speed control algorithm of Induction Motor. The main idea of this paper is to compensate the torque component of motor current with load torque observer and feedforward control. The speed response of the conventional PI controller is affected by variation of system parameters. However the proposed system has robust characteristics against the variation of system parameters. The simulation results and experiment prove the validity of proposed algorithm.

### 1. 서론

최근 들어 유도전동기의 제어 시스템의 구성에 속도제어부로서 PI제어기를 사용하는 벡터 제어를 이용하는 방식이 널리 채택되고 있다. 그 이유는 PI제어기가 우수한 특성을 갖고 있으면서도 간단히 제어 시스템을 구성할 수 있는 장점을 갖고 있기 때문이다. 그러나 기존의 PI제어기는 부하 변동이나 시스템 파라미터의 변동에 영향을 받는다. 이에 본 논문에서는 PI제어기에 부하토크 관측기를 첨가하여 부하토크 전류분을 피드포워드 보상함으로써 토크 변동과 파라미터 변동에 보다 강인한 제어를 구성하고 시뮬레이션과 실험을 통해 제안한 제어기의 우수성을 입증한다.

### 2. 부하토크 피드포워드 제어기의 구성

유도전동기를 벡터제어 방법으로 제어할 경우 발생 토크는 식(1)과 같이 일반적인 DC기기의 경우와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B\omega_m = K_T i_T - T_L \quad (1)$$

여기서  $i_T$  ; 토크 성분 전류  
 $\omega_m$  ; 전동기 속도

$J$  ; 관성 모우먼트  
 $K_T$  ; 등가 토크 상수  
 $T_L$  ; 부하토크

를 각각 나타낸다.

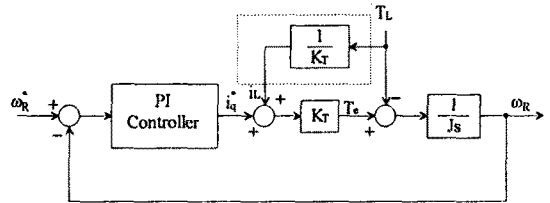


그림 1. 유도전동기 속도 제어계의 블럭선도

그림 1은 일반적인 유도전동기 속도제어계의 블럭선도를 나타낸다. 그림 1에서 시스템 특성을 고려하여 PI제어기를 설계하였다고 하더라도 부하토크가 인가될 경우 그 영향을 없애기가 쉽지 않다. 이 단점을 극복하기 위해 그림 1의 점선부분과 같이 부하토크분 전류를 피드 포워드 보상하여 부하토크의 영향을 최소화한다.

부하토크를 피드포워드 보상하기 위해서 그림 2와 같은 관측기를 구성하였다.[1,3]

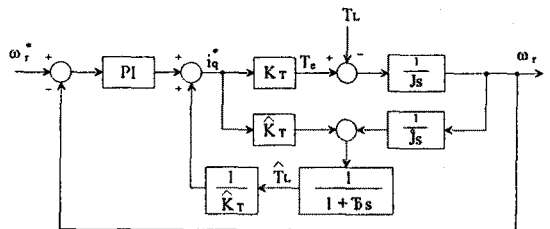


그림 2. 관측기를 사용한 피드 포워드 제어기

부하토크 추정식은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{T}_L(s) = \frac{\hat{K}_T \cdot i_T - s \cdot \hat{J} \cdot \omega_m(s)}{1 + T_0 s} \quad (2)$$

제안한 제어기에 대해 부하,  $T_L$ 에 대한 속도 응답을 구하여 보면 다음 식(3)이 된다.

$$\frac{\omega_m}{T_L} = \frac{T_0 s \cdot s}{(T_0 s + 1)(Js^2 + K_r(K_p s + K_i))} \quad (3)$$

이 식을 고찰해 보면,  $T_0$ 를 충분히 작게 하여 부하가 속도 응답에 미치는 영향을 제거할 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 3. 파라미터 변동에 대한 강인성

기존의 PI제어기와 관측기를 사용하여 피드 포워드 제어를 첨가한 제어기의 지령치에 대한 속도 응답식은 각각 다음 식(4), 식(5)와 같이 나타내어진다.

$$\frac{\omega_m}{\omega_m^*} = \frac{K_r(K_p s + K_i)}{Js^2 + K_r(K_p s + K_i)} \quad (4)$$

$$\frac{\omega_m}{\omega_m^*} = \frac{K_p K_r T_0 s^2 + (K_i T_0 + K_p) K_r s + K_i K_r}{J T_0 s^3 + (K_p K_r T_0 + K_r / \hat{K}_r \hat{J}) s^2 + (K_i T_0 + K_p) K_r s + K_i K_r} \quad (5)$$

식(4),식(5)에 대하여 J를 5배까지 변화하며 근궤적의 변화를 그리면 그림3과 같다.

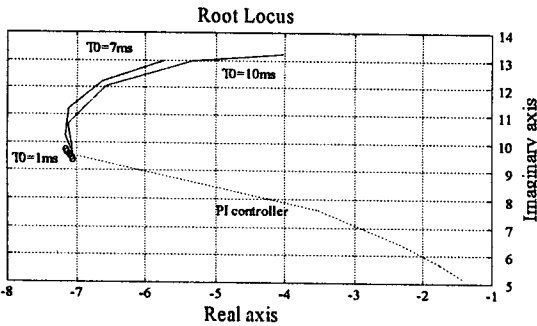


그림 3. J의 변화에 따른 극점의 움직임

그림 3에서 관측기를 사용한 경우에는  $T_0$ 를 10ms, 7ms, 1ms로 설정하여 각각의 경우에 대해 나타내었다. 그림 3에서 기존의 PI제어기의 경우 J가 변화함에 따라 근의 위치가 크게 변화하지만 제안한 제어기의 경우  $T_0$ 를 작게 할수록 근궤적의 변화량이 줄어들어  $T_0$ 가 1ms일때는 관성 모멘트가 5배 변화하였음에도 불구하고 거의 근의 위치가 변하지 않는 것을 볼 수 있다. 이것으로 부하토크를 피드포워드 보상함으로써 기존의 PI제어기에 비해 파라미터 변동에 대해 보다 강인한 제어기를 구성할 수 있다는 것을 알 수 있다.

### 4. 시뮬레이션 및 실험 결과

시뮬레이션과 실험에 사용한 전동기 파라미터는 표1과 같다. 전류 제어와 속도 제어의 샘플링 시간은 각각 100us, 1ms이다. 속도는 600rpm으로 하고 부하토크는 6Nm를 인가하여 시뮬레이션을 하였다.

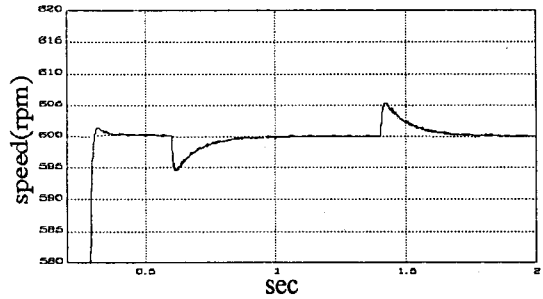


그림 4. PI제어기의 속도 응답

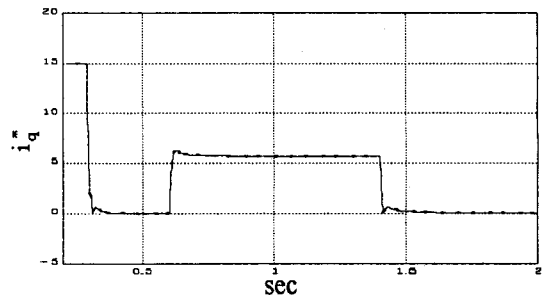


그림 5. PI제어기의 전류 지령치

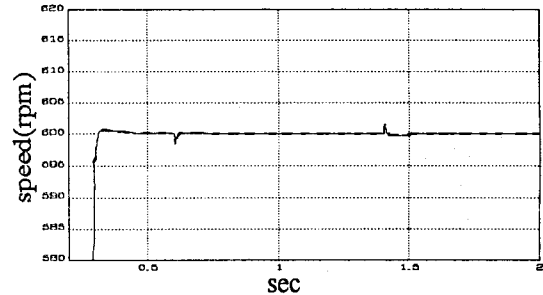


그림 6. 제안한 제어기의 속도 응답

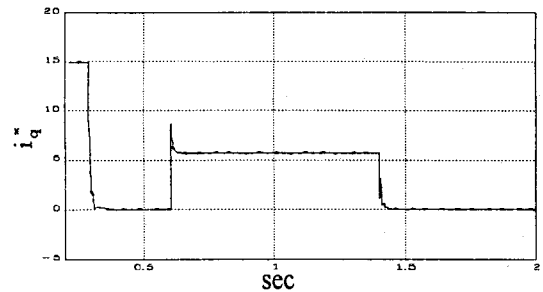


그림 7. 제안한 제어기의 전류 지령치

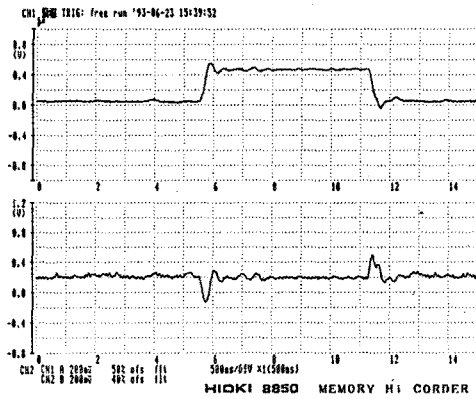


그림 8. PI제어기의 전류지령치와 속도응답

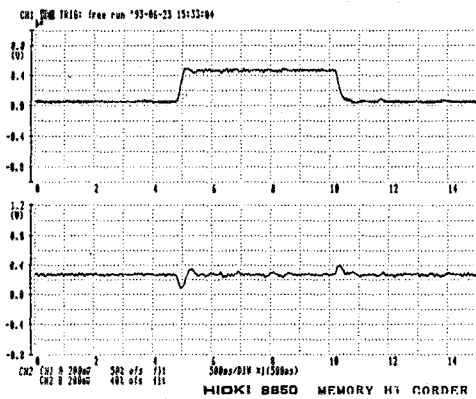


그림 9. 제안한 제어기의 전류지령치와 속도응답

표 1. 시뮬레이션 및 실험에 사용한 전동기 파라미터

정격출력	3 [Hp]	Rr	1.28[Ohm]
정격전압	220[V]	Ls	0.109[H]
정격전류	8[A]	Lr	0.109[H]
극쌍수	2	M	0.106[H]
Rs	1.26[Ohm]	J	0.02[Kgm <sup>2</sup> ]

그림 4, 그림 5, 그림 6, 그림 7은 각각 PI 제어기의 속도 응답과 전류 지령치, 제안한 제어기의 속도 응답과 전류 지령치를 나타낸다. 그림에서 보듯이 제안한 제어기가 보다 양호한 특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 그림 8과 그림 9는 DSP를 사용한 제어기를 구성하여 실험한 결과로 각각 전류지령치와 속도응답을 나타낸다. PI제어기의 경우 100% 부하인가시 약 18rpm의 속도변동이 생기지만 제안한 제어기의 경우 약 10rpm의 속도변동을 보인다. 이로써 제안한 제어기가 50%정도 속도변동이 감소하는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 유도전동기의 속도제어부에 사용한 PI제어기의 속도 응답 특성을 개선하고자 부하토크 관측기를 추가하여 부하토크를 추정, 피드포워드 보상하였다. 이렇게 구성한 제어기에 대해 시뮬레이션과 실험을 통하여 부하 변동과 파라미터 변화에 강인한 속도응답 특성을 갖고 있음을 확인하였다.

## 6. 참고 문헌

- [1] Jun K. Kang, et.al, "SPEED CONTROLLER DESIGN FOR INDUCTION MOTOR DRIVES USING A PDF CONTROL AND LOAD DISTURBANCE OBSERVER", *IECON'91* pp.799-803
- [2] TSUTOMU OHMAE, et.al, "A Microprocessor-Based Motor Speed Regulator Using Fast-Response State Observer for Reduction of Torsional Vibration", *IEEE Trans. on IAS*, Vol. IA-23,1987, No. 5
- [3] Makoto IWASAKI, "Robust Speed Control of IM with Torque Feedforward Control", *IECON'91*, pp.627-632