

# 유도전동기의 파라미터 변동에 따른 간접벡터제어 성능비교

진태훈, 권혁주, 이준희, 조영훈  
 건국대학교 전기공학과

## Comparison of Indirect Vector Control Performance by Parameter Variation of Induction Motor

Taehoon Jin, Hyukjoo Kwon, Joonhee Lee, Younghoon Cho  
 Konkuk Univ.

### ABSTRACT

본 논문에서는 유도전동기의 지속적 구동에 의한 파라미터값의 변화에 따른 간접벡터제어의 성능비교에 대한 연구를 하였다. 파라미터 값의 변화에 따라 제어성능이 어떻게 변화하는지를 모의실험을 통해 확인하고자 하였다. 변화는 2.2kW의 정격 출력을 갖는 유도전동기 구동시스템을 통해 확인하였다.

### 1. 서 론

최근 직류전동기에 비해 견고성과 무보수성의 장점을 가진 유도전동기의 활용도가 높아지고 있다. 전력용 반도체 및 마이크로프로세서의 발달로 인해 벡터제어를 적용한 유도전동기가 직류전동기를 대신하고 있는 추세이다.

하지만 장시간의 운전시간이 필요한 시스템의 경우 전동기의 온도가 변하면서 파라미터값의 영향을 준다.<sup>[1]</sup>

따라서, 본 논문에서는 간접벡터제어를 이용하여 자속과 토크의 크기를 제어하고, 각각의 파라미터값의 변화에 따른 제어 성능을 비교해보고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 유도전동기의 회전자 자속각

동기 좌표계의 회전자 전압방정식은 식(1)과 같다.

$$v_{qr}^e = R_r i_{qr}^e + p \lambda_{qr}^e + (w_e - w_r) \lambda_{dr}^e = 0 \quad (1)$$

동기 좌표계의 d축을 회전자 자속에 일치시키면 식(2)를 만족한다.

$$|\lambda_r| = \lambda_{dr}, \lambda_{dr} = 0 \quad (2)$$

이 값을 회전자 전압 방정식에 대입하면 식(3)을 얻을 수 있다.

$$v_{qr}^e = R_r i_{qr}^e + (w_e - w_r) \lambda_{dr}^e = 0 \quad (3)$$

이로부터 다음과 같은 벡터제어시의 슬립 각속도 식(4)를 얻을 수 있다.

$$w_e - w_r = w_{sl} = - \frac{R_r i_{qr}^e}{\lambda_{dr}^e} \quad (4)$$

식(4)에서 회전자 전류를 제거하기 위해 다음과 같은  $q^e$  축 회전자 쇄교 자속 식을 이용한다.

$$\lambda_{qr}^e = L_r i_{qr}^e + L_m i_{qs}^e = 0 \quad (5)$$

$$i_{qr}^e = - \frac{L_m}{L_r} i_{qs}^e \quad (6)$$

식(4)에 식(6)을 대입하면 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$w_{sl} = \frac{R_r L_m}{L_r} \frac{i_{qs}^e}{\lambda_{dr}^e} \quad (7)$$

$$w_{sl} = \frac{1 + T_r p}{T_r} \frac{i_{qs}^e}{i_{ds}^e} \quad (8)$$

$$T_r = \frac{L_r}{R_r} \quad (9)$$

회전자 자속의 크기를 일정하게 제어할 때는  $i_{ds}^e$  또한 일정한 값으로 유지되므로 식(8)은 아래와 같이 표현된다.

$$w_{sl} = \frac{1}{T_r} \frac{i_{qs}^e}{i_{ds}^e} \quad (10)$$

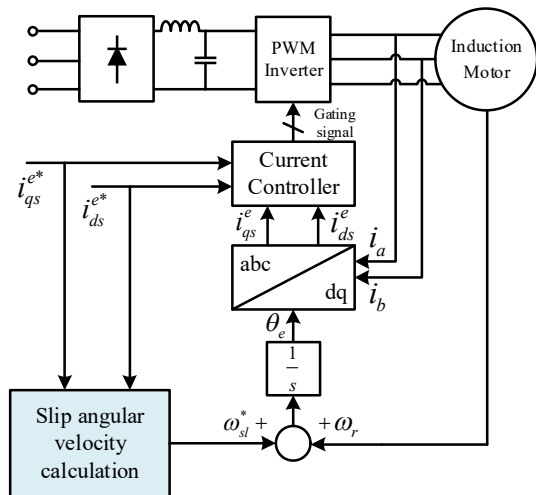


그림 1 간접 벡터 제어 시스템의 구성과 원리.

Fig. 1 Configuration and principal of Indirect Vector Control System.

유도전동기의 자속 성분 전류  $i_{ds}^e$ 와 토크 성분 전류  $i_{qs}^e$ 를 제어하기 위해 슬립 각속도를 식(10)으로 계산된  $w_{sl}$  값이 되도록 제어해 주면 된다. 유도전동기의 슬립

각속도를 식(10)의 값이 되도록 하기 위해서는 회전자의 각속도  $w_r$ 과 그 슬립 각속도  $w_{sl}$ 를 더해서 얻어진 동기 각속도  $w_e$ 로 운전하면 된다. 이를 위해 회전자의 자속 각  $\theta_e$ 를 다음의 식(11)과 같다.<sup>[2]</sup>

$$\theta_e = \int w_e dt = \int (w_{sl} + w_r) dt \quad (11)$$

## 2.2 모의실험

제시한 제어기를 갖는 유도전동기 간접 벡터제어 시스템의 타당성을 검증하기 위해 그림 1과 같이 시스템을 구성하고 모의실험을 실행하였다. 실제값으로 추정하는 모의실험에 사용된 전동기의 정격과 상수값은 표 1과 같다.

표 1 2.2kW 유도전동기 상수와 정격.  
Table 1 Parameter and ratings of 2.2kW induction motor.

정격 용량	2.2kW	회전자 저항(Rr)	0.379Ω
정격 전압	220V	고정자 인덕턴스(Ls)	60.794mH
정격 전류	8.7A	회전자 인덕턴스(Lr)	60.794mH
정격 속도	1,735rpm	상호 인덕턴스(Lm)	59mH
극수	4	관성 계수	0.1kg·m <sup>2</sup>
고정자 저항(Rs)	0.295Ω		

그림 2는 제어기가 잘 동작하는지를 확인하기 위해 speed\_ref를 250rpm에서 0.5초에 500rpm으로 변화시킨 후의 제어 특성을 나타낸 파형이다. 0.5초에 speed\_ref를 500rpm으로 올렸더니 과도상태를 거쳐 speed가 500rpm으로 상승함을 알 수 있다. 전류의 경우에도 과도상태를 거친 후 정상상태에서는 정현파의 삼상전류가 나옴을 확인할 수 있다.

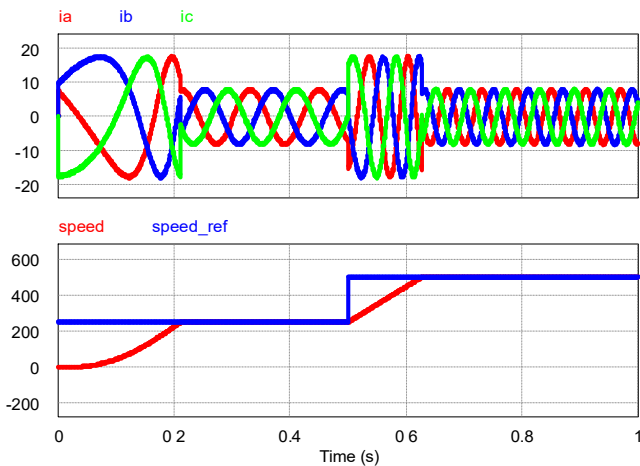


그림 2 speed\_ref의 변화에 대한 보상특성(2\*250rpm).

(a) 출력 상전압 (b)속도, 속도레퍼런스

Fig. 2 Compensation characteristic for change of speed\_ref.

(a) output phase current (b) speed, speed\_ref

식(9)와 식(10)을 통해 회전자 저항(Rr)과 회전자 인덕턴스(Lr) 값의 변화에 따라  $w_{sl}$ 가 변하면서 회전자 자속각  $\theta_e$ 가 변한다. 따라서, d축과 q축의 전류가 적절하게 분배되지 않고, 부정확한 값이 입력된다(Detuning 효과). 이로 인해, 정확한 벡터제어가 이루어지지 않게 되어 정상상태 특성 및 과도 응답

특성이 모두 저하된다.

그림 3과 그림 4는 논문에서 제시한 유도전동기의 파라미터 값 중에 회전자 저항(Rr)값과 회전자 인덕턴스(Lr)값을 변화했을 때 제어 특성을 나타낸 파형이다. 그림 3은 0.4초에 회전자 저항값을 15배로 증가시켰고, 그림 4는 0.4초에 회전자 인덕턴스값을 1.5배로 증가시켰다. 파형을 살펴보면, 두 파형 모두 speed가 speed\_ref를 따라가는데 시간이 더 오래 걸림을 알 수 있다.

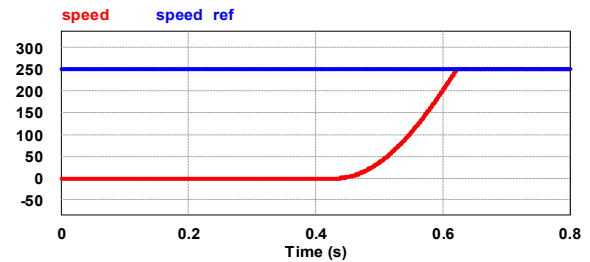


그림 3 회전자 저항의 변화에 대한 speed와 speed\_ref(250 rpm, 1.5 \* Rr).

Fig. 3 Speed and speed\_ref for changes in rotor resistance(250 rpm, 1.5 \* Rr).

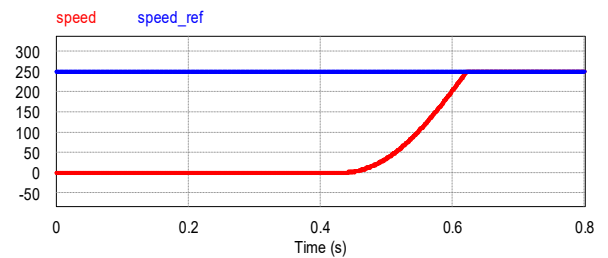


그림 4 회전자 인덕턴스의 변화에 대한 speed와 speed\_ref(250 rpm, 1.5 \* Lr).

Fig. 4 Speed and speed\_ref for changes in rotor inductance(250 rpm, 1.5 \* Lr).

## 3. 결론

본 논문에서는 유도전동기의 간접 벡터제어에서 온도에 의해 쉽게 변하는 회전자 저항과 고속운전영역에서 크게 변하는 회전자 자기 인덕턴스의 변화가 제어 성능에 미치는 영향을 해석해보고 그 파형을 비교해 보았다. 모의실험을 통해 비교 파형을 확인하였고, 파라미터값이 변했을 때 과도상태일때의 시간이 더 길어졌음을 확인하였다. 즉, 제어기의 적응성이 더 작아졌음을 확인하였다.

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 산업연계 교육활성화 선도대학(PRIME) 사업에서 지원을 받아 수행된 연구임

## 참고 문헌

- [1] 서해용, 박병건, 김종무, 하현욱, 문석환, “유도전동기 간접 벡터제어 성능향상을 위한 회전자 시정수 추정기법”, 대한전기학회 학술대회 논문집, pp1035-1036, 2013.
- [2] 김상훈, “모터제어 DC, AC, BLDC”, 북두출판사, 2017.