

## 회전자 저항의 변화가 벡터제어 성능에 미치는 영향

정종호<sup>0</sup>  
서초전자공고

이은웅, 조현길<sup>1</sup>  
충남대학교 전기공학과

이종한<sup>2</sup>  
장항공고

### The Effects of Variation of Rotor Resistance for the Performance of Vector Control

Jong-Ho Jeong<sup>0</sup>

Eun-Woong Lee, Hyun-Kil Cho<sup>1</sup>

Jong-Han Lee<sup>2</sup>

Seo Cho Electronics Industrial High School

Dept. of Electrical Engineering  
Chung Nam National University

Jang Hang industrial High School

### Abstract

In this paper, the simulation of the effects of variation of rotor resistance of induction motor for the performance of vector control is presented.

Especially, this paper considered the effects as a difference variation of the rotor resistance between slip calculator and induction motor.

### 1. 서 론

유도전동기는 직류전동기에 비해 견고하고 무게, 크기 유지보수면에서 월등히 우수하지만 물리적으로 비선형인 자속과 토오크성분 변수의 간섭으로 가변속 구동이 쉽지 않아 주로 정속도 구동용으로 사용되어 왔다. 그러나 전력 전자 기술의 발달과 함께 이같은 문제점을 개선할 수 있는 벡터제어는 유도 전동기의 고정자 전류에 의해 발생하는 동기속도의 회전자계를 dq축으로 변환하고 회전자 자속을 d축에 일치시키자 속성분과 토오크 성분을 분리하여 타여자 직류전동기와 같은 제어 특성을 갖게하는 제어법으로서 자속각 검출방식에 따라 직접벡터제어와 간접벡터제어로 나뉘어진다.

직접벡터제어는 공극자속벡터를 측정하여 고정자 전류로부터 자속성분과 토오크 성분을 분리 제어하므로 전동기의 파라미터에는 민감하지 않으나 자속측정이 불안정하고 비용이 많이 듈다. 반면에 간접 벡터 제어는 고정자 전류와 회전자 속도로부터 회전자 자속을 전동기 파라미터를 이용하여 연산하는 방법으로 파라미터의 영향에 민감하지만 저속에서 고속까지 운전이 쉽고 자속센서를 사용하지 않으므로 비용이 적게 듈다. 따라서 실용상에서는 간접벡터제어법을 주로 사용하고 있다.

유도 전동기의 간접벡터제어는 자속연산부에서 전동기의 파라미터를 사용하여 자속각을 연산한다. 그러나, 이들 파라미터 중 회전자 저항은 전동기 운전 중에 온도가 변화함에 따라 바뀐다<sup>[1][2]</sup>.

일반적으로 회전자 저항을 일정한 것으로 보고 연산을 하지만 고성능 제어를 할 경우 회전자 저항을 정확히 알아야만 원하는 응답을 얻을 수 있다.

이 논문에서는 참고문헌[3]의 회전자 저항 변화의 근사식을 이용하여 회전자 저항이 변화할 때 제어성능에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 알아보고자 한다<sup>[3]</sup>.

### 2. 기본 이론

유도 전동기의 기본식을 동기속도로 회전하는 기준축에서 나타내면 식(1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_d^e \\ V_q^e \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + PL_m & -\omega L_m & PL_m & -\omega L_m \\ \omega L_m & R_s + PL_m & \omega L_m & PL_m \\ PL_m & -\omega L_m & R_s + PL_m & -\omega L_m \\ \omega L_m & PL_m & \omega L_m & R_s + PL_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d^e \\ i_q^e \\ i_d^r \\ i_q^r \end{bmatrix} \quad (1)$$

$R_s, R_r$  : 고정자 및 회전자 저항

$L_s, L_r$  : 고정자 및 회전자 인덕턴스

$M$  : 상호인덕턴스

$P$  : 극대수

$\omega_r$  : 회전자 각속도

$V_d^e, V_q^e$  : 고정자의 dq축 전압

$i_d^e, i_q^e$  : 고정자의 dq축 전류

$i_d^r, i_q^r$  : 회전자의 dq축 전류

$P = \frac{d}{dt}$  : 미분연산자

회전자 쇄교자속을 전류와 인덕턴스로 바꾸어 식(1)의 회전자 전압항에 대입하면 식(2)와 식(3)이 된다.

$$0 = R_r i_d^r + P \lambda_d^r - \omega_m \lambda_q^r \quad (2)$$

$$0 = R_r i_q^r + P \lambda_q^r + \omega_m \lambda_d^r \quad (3)$$

회전자 쇄교자속을 d축에 일치시키면 q축 회전자 쇄교자속은 0이 되므로 이것을 식(2)와 식(3)에 대입하여 정리하면 회전자의 dq축전류는 식(4)와 식(5)가 된다.

$$i_d^r = \frac{\lambda_r^e}{L_r} - \frac{L_m}{L_r} i_q^e \quad (4)$$

$$i_q^r = -\frac{L_m}{L_r} i_q^e \quad (5)$$

이 식(5)를 식(3)에 대입하면 식(6)과 같은 슬립각속도를 얻을 수 있다.

$$\omega_m = \frac{R_r}{L_r} \left( \frac{L_m}{\lambda_r^e} \right) i_q^e \quad (6)$$

토오크 식은 식(4)와 식(5)를 이용하여 식(7)과 같이 얻을 수 있다.

$$T = \frac{3}{2} \frac{P}{2} L_m \left( \frac{\lambda_r^e}{L_r} \right) i_{qs}^e \quad (7)$$

일정자속제어인 벡터제어 시스템에서 식(6)의 기동 전에 측정한 각 정수 중 회전자 저항은 실제 기동 중에 회전자의 온도 상승에 의해 회전자 저항이 변하면 회전자 q축 쇄교자속을 0으로 유지할 수 없게 되어 자속성분과 토오크성분의 비간섭성과 토오크성분 전류-토오크의 직선성을 잃어버리게 된다.

### 3. 시뮬레이션

최근까지 간접 벡터 제어에서 회전자 저항이 제어 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션할 때 회전자 저항의 변화가 일정한 배수로 증가하는 것으로 하였다. 그러나 실제 전동기와 슬립을 연산하는 모델 사이의 회전자 저항이 일치하지 않으면, 자속성분과 토오크성분의 비간섭성을 유지할 수 없다. 회전자 저항은 실제로 운전 중에 조금씩 연속적으로 변화하는 물리적 특성을 지니고 있으므로 이러한 변화를 고려했을 때 회전자 저항이 벡터제어 성능에 미치는 영향을 고려해 볼 필요가 있다.

본 논문에서는 참고문헌[3]의 회전자 저항 변화의 근사식을 이용하여 회전자 저항을 변화시키켜 시뮬레이션을 하였다.

그림1은 간접 벡터 제어의 제어시스템의 블록도이고 표1은 시뮬레이션에 사용한 전동기의 파라미터이다.

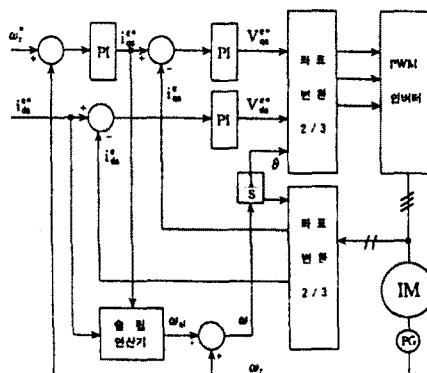


그림1. 유도 전동기의 제어 블록도

그림1의 슬립연산기는 식(6)을 이용하여 연산하므로 실제 전동기의 회전자 저항과 슬립연산기에서 사용하는 회전자 저항이 일치할 때 정확한 비간섭제어가 실현될 수 있다.

표1. 시뮬레이션에 사용된 전동기의 파라미터

전동기용량	2.2Kw	고정자 인덕턴스	0.0671[H]
DC링크전압	311.127[V]	회전자 인덕턴스	0.0671[H]
정격전류	8.6[A]	상호 인덕턴스	0.0650[H]
정격토오크	12.073[Nm]	극수	4극
고정자 저항	0.9210[Ω]	이너서	0.0418[kg m <sup>2</sup> ]
회전자 저항	0.5830[Ω]		

본 논문에서는 슬립연산기와 실제 전동기의 회전자 저항이 일치하여 변화하는 이상적인 경우[그림2,3], 슬립연산기와 실제 전동기의 회전자 저항은 시간에 따라 변화하지 않고 배수로 증가하는 경우[그림4,5], 슬립연산기의 회전자 저항은 배수로 증가시키고 실제 전동기의 회전자 저항은 슬립연산기의 회전자 저항과 같이 배수로 증가시키되 시간에 따라 변하는 경우[그림6,7]에 대해서 시뮬레이션을 하였다.

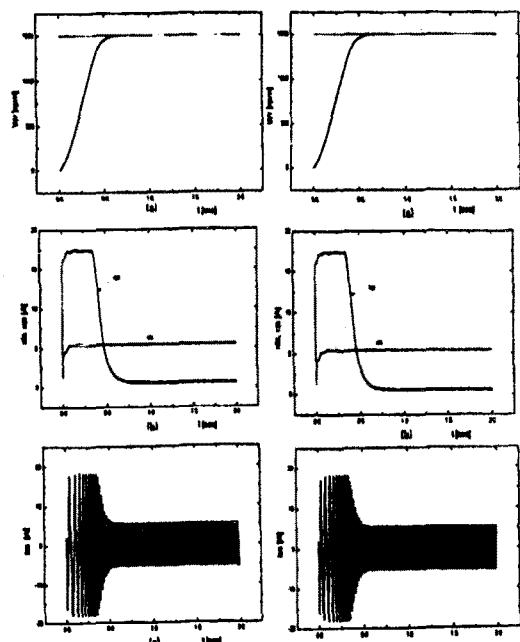


그림2 무부하시,  $R_L = R_s$ 일 경우  
 $R_s=1$ 에서 변화시

(a) 속도응답, (b) dq축전류, (c) a상전류

그림3 무부하시  $R_L = R_s$ 일 경우  
 $R_s=1.5$ 에서 변화시

(a) 속도응답, (b) dq축전류, (c) a상전류

#### 4. 시뮬레이션 결과 분석

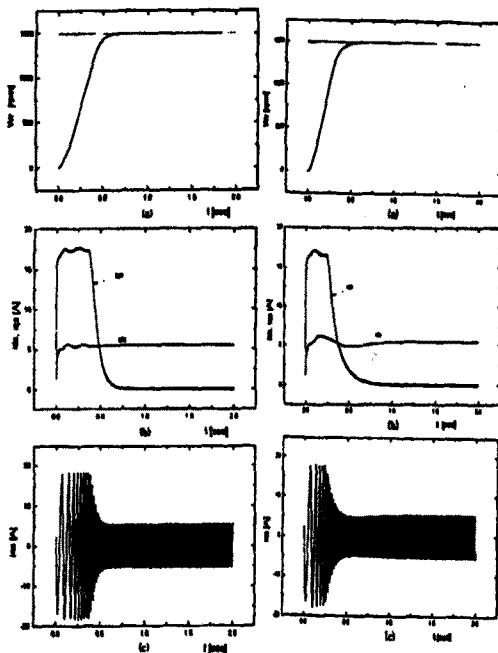


그림4 무부하시,  $R_r \neq R_r^*$ 일 경우

$R_r = 1$  고정, 연산기고정

(a)속도응답,(b)dq축전류,(c)a상전류

그림5 무부하시  $R_r \neq R_r^*$ 일 경우

$R_r = 1.5$  고정, 연산기고정

(a)속도응답,(b)dq축전류,(c)a상전류

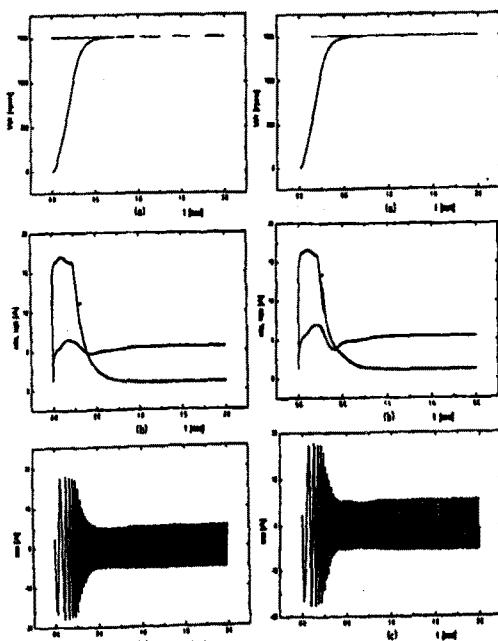


그림6 무부하시,  $R_r \neq R_r^*$ 일 경우

$R_r = 1$  변화, 연산기고정

(a)속도응답,(b)dq축전류,(c)a상전류

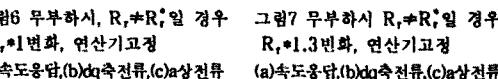


그림7 무부하시  $R_r \neq R_r^*$ 일 경우

$R_r = 1.3$  변화, 연산기고정

(a)속도응답,(b)dq축전류,(c)a상전류

앞에서 제시한 세가지 방법에 의해서 시뮬레이션한 결과 중 [그림2,3]은 슬립연산기와 실제 전동기의 회전자 저항과 일치하는 경우에 관한 것으로 회전자 저항의 변화가 제어에 미치는 영향이 거의 없음을 알수 있다. [그림4,5]는 슬립연산기와 실제 전동기의 회전자 저항이 변화하지 않고 배수로 증가하는 경우로 무부하시에는 저항의 변화에 그리 민감하지 않게 나타난다. [그림6,7]는 슬립연산기와 실제 전동기의 회전자 저항이 배수로 증가하며 실제 전동기의 회전자 저항이 변화하는 경우로서 [그림4,5]에 비해서 제어성능이 악화되고 있음을 보여준다.

따라서, [그림4,5]와 본 논문에서 제시한 [그림6,7]의 시뮬레이션 결과는 벡터제어 성능에 상당한 차이가 있음을 알수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 회전자 저항이 운전중 시간에 따라 연속적으로 변화하는 물리적 특성에 차안하여 벡터제어 성능에 대한 시뮬레이션이 회전자 저항의 변화가 배수로 증가하며 일정한 것[그림4,5]과 시간에 따라 연속적으로 변화는 것[그림6,7]에 따른 결과가 다름을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

#### References

- [1] L.J.Graices, "Parameter adaption for the speed-controlled static AC drive with a squirrel-cage induction motor", IEEE Trans. on IA, Vol. IA-16, No.2, pp. 173-178, 1980.
- [2] 多田限進, 田中茂, 三浦和敏, 内藤治夫, フィードフォワード制御とフィードバック制御を併用した誘導機のベクトル制御方式, T.IEE, Japan, Vol. 110-D, No.5, pp487-496, 1990.
- [3] C.C Chan, H. Wang, "An effective method for rotor resistance identification for high-performance induction motor vector control", IEEE Trans. on IE, Vol. IE-37, No.6, pp477-483, 1990.
- [4] 윤덕용, "공간전압벡터 PWM기법을 이용한 영구자석형 동기전동기의 속도제어", 단국대학교 대학원 박사학위논문, 1995.