

## 유도전동기의 고성능 속도제어를 위한 적응퍼지제어

이홍균, 이정철, 정택기, 정동화  
 순천대학교 공과대학 정보통신공학부

### Adaptive Fuzzy Control for High Performance Speed Control of Induction Motor Drive

Hong-Gyun Lee, Jung-Chul Lee, Tack-Gi Jung, Dong-Hwa Chung  
 School of Information & Communication Engineering, Suncheon National Univ.

#### ABSTRACT

This paper investigates the adaptive control of a fuzzy logic based speed and flux controller for a vector controlled induction motor drive. A model reference adaptive scheme is proposed in which the adaptation mechanism is executed by fuzzy logic based on the error and change of error measured between the motor speed and output of a reference model. The control performance of the model reference adaptive control(MRAC) fuzzy controller is evaluated by simulation for various operating conditions. The validity of the proposed MRAC fuzzy controller is confirmed by performance results for induction motor drive system.

#### 1. 서 론

유도전동기의 고성능 드라이브는 동적 특성에서 다양한 속도 추정능력, 부하 변화에 적응하여 조절할 수 있는 양호한 응답특성, 드라이브와 부하 파라미터의 변동에도 강인한 성능이 요구된다. 이러한 시스템에 양호한 성능을 얻기 위한 연구로 적응제어가 연구되었으며 적응제어는 종래의 PI 제어기에 비해 매우 양호한 성능을 얻을 수 있었다. 최근 적응제어는 STC, MRAC, SMC 및 EKF 등의 다양한 기법들이 제시되었다<sup>[1-2]</sup>. 이러한 적응제어 기법은 수학적 모델링에 기초를 두고 있으며 다량의 알고리즘 때문에 매우 복잡하다.

본 연구에서는 MRAC 기법을 이용하여 유도전동기의 고성능 제어를 위한 적응 퍼지제어를 제시한다. 적응 퍼지제어는 종래의 퍼지제어 및 적응제어의 문제점을 보완하여 종래의 퍼지제어기에 기준 모델을 추가하여 MRAC 형태의 퍼지제어기를 구성한다. 종래의 퍼지제어기와 본 연구에서 제시한 MRAC 퍼지제어기의 응답특성의 결과는 매우 양호하게 나타났으며 그 결과들을 제시한다.

#### 2. 드라이브 시스템과 모델링

그림 1은 간접 벡터제어에 의한 유도전동기 드라이브의 제어 블록도를 나타낸다.

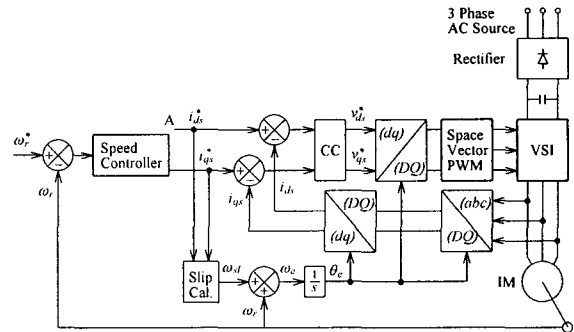


그림 1 간접 벡터제어에 의한 유도전동기 드라이브의 블록도  
 Fig. 1 Block diagram of indirect vector controlled IM drive

그림 2는 자속 제어기를 나타내며 그림 1에서  $i_{ds}^*$ 에 있는 A점에 연결하면 드라이브 시스템이 완성된다. 자속제어기는 PI, Antiwindup PI 제어기 및 퍼지제어기로 구성하여 응답특성을 구한다. 속도제어기에서는  $i_{qs}^*$ 가 제어되고 자속제어기에서는  $i_{ds}^*$ 를 제어한다.

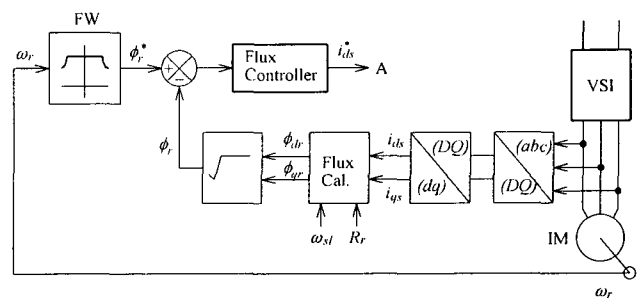


그림 2 자속제어기  
 Fig. 2 Flux controller

### 3. 퍼지 속도제어기

그림 3는 퍼지제어기를 사용한 속도제어 시스템의 블록도를 나타낸다. 그림 4는 속도 및 자속 퍼지제어기의 블록도를 나타낸다.

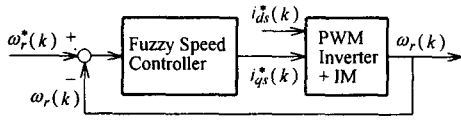


그림 3 퍼지 속도제어기의 블록도  
Fig. 3 Block diagram of fuzzy speed controller

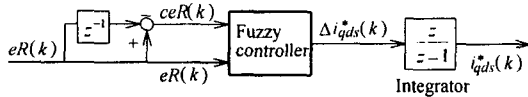


그림 4 퍼지제어기의 블록도  
Fig. 4 Block diagram of fuzzy controller

퍼지제어기로 선정되어 입력되는 가장 중요한 변수는 속도오차와 속도오차의 시간 변화분이다. 속도제어에서  $eR(k)$ 는  $e\omega_r(k)$ 이며  $ceR(k)$ 는  $ce\omega_r(k)$ 이고 퍼지제어기의 출력은 지령전류의 변화  $\Delta i_{qs}^*$ 이다. 두 개의 입력변수는  $e\omega_r(k)$ 와  $ce\omega_r(k)$ 이며 매 샘플링 순간에서 다음과 같이 계산된다.

$$e\omega_r(k) = \omega_r^*(k) - \omega_r(k) \quad (1)$$

$$ce\omega_r(k) = e\omega_r(k) - e\omega_r(k-1) \quad (2)$$

여기서  $\omega_r^*(k)$ 는 지령속도이며  $\omega_r(k)$ 는 실제 회전자 속도이다. 비퍼지화 단계에서 출력변수  $\Delta i_{qs}^*(k)$ 의 보통 값을 얻는다. 간접 벡터제어 시스템에 적용하는 지령전류  $i_{qs}^*(k)$ 는 다음과 같다.

$$i_{qs}^*(k) = i_{qs}^*(k-1) + \Delta i_{qs1}^*(k) + \Delta i_{qs2}^*(k) \quad (3)$$

### 4. MRAC 퍼지제어기

MRAC는 그림 5에 나타낸 특정 수학적 기준모델의 출력으로서 제어 시스템의 예측성능을 파악할 수 있다. 입력  $r$ 는 지령속도  $\omega_r^*(k)$ 이며 플랜트는 PWM 인버터와 유도전동기이다. 그리고 플랜트의 출력  $y$ 는  $\omega_r(k)$ 이며 기준모델의 출력은  $m_y$ 는  $\omega_m(k)$ 이다.

그림 6는 기준모델에 의한 퍼지 적응 메카니즘을 나타낸다. 퍼지 적응 메카니즘의 루프는 종래의 퍼지제어기 루프와 병렬로 연결된다.

적응 메카니즘에 의한 출력은  $\Delta i_{qs2}^*(k)$ 를 발생시킨다.  $\Delta i_{qs1}^*(k)$ 과  $\Delta i_{qs2}^*(k)$ 를 합하여  $\Delta i_{qs}^*(k)$ 를 구하고 이를 적분기를 통해  $i_{qs}^*(k)$ 를 발생시켜 플랜트에 인가한다.

퍼지 적응 메카니즘의 입력은 기준모델의 출력과 실제

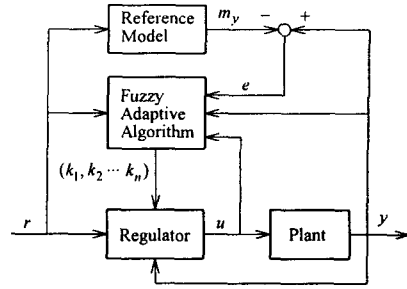


그림 5 MRAC 퍼지제어기의 블록도  
Fig. 5 Block diagram of MRAC fuzzy controller

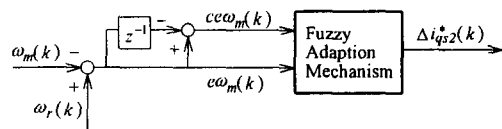


그림 6 기준모델에 의한 퍼지 적응 메카니즘  
Fig. 6 Fuzzy adaption mechanism with reference model

속도의 오차( $e\omega_m(k)$ )와 오차의 변화분( $ce\omega_m(k)$ )을 사용한다. 오차와 오차의 변화분은 다음과 같다.

$$e\omega_m(k) = \omega_m(k) - \omega_r(k) \quad (4)$$

$$ce\omega_m(k) = e\omega_m(k) - e\omega_m(k-1) \quad (5)$$

위의 두 입력은 적응 퍼지의 룰 베이스에 의해 지령 q축 전류에 보상되는  $\Delta i_{qs2}^*(k)$ 가 발생되고  $\Delta i_{qs1}^*(k)$ 에 추가된다. 그러므로 퍼지제어기의 지령 q축 전류는 다음과 같다.

$$i_{qs}^*(k) = i_{qs}^*(k-1) + [\Delta i_{qs1}^*(k) + \Delta i_{qs2}^*(k)] \quad (6)$$

### 5. 결과 및 고찰

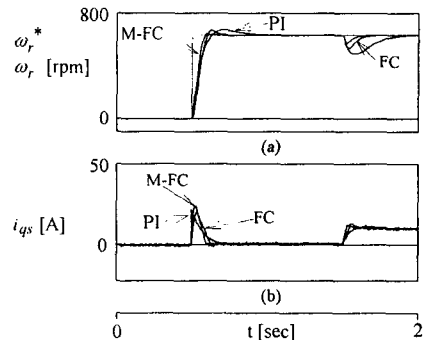


그림 7 PI, 퍼지제어기와 MRAC 퍼지제어기의 응답특성의 비교  
Fig. 7 The comparison of response characteristics with PI, Fuzzy Controller and MRAC Fuzzy Controller

그림 7은 PI, 퍼지제어기와 MRAC 퍼지제어기의 속도와 q축 전류를 비교한 결과이다. 그림 7 (a)에서 MRAC 퍼지제어기에서 속도는 종래의 PI 및 퍼지제어기의 속도

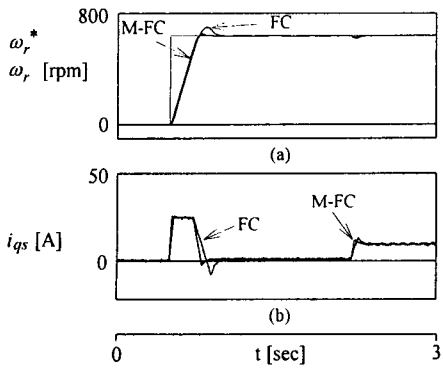


그림 8 퍼지제어기와 MRAC 퍼지제어기의 응답비교  
Fig. 8 Response Comparison with Fuzzy Controller and MRAC Fuzzy Controller ( $J = 5J_n$ )

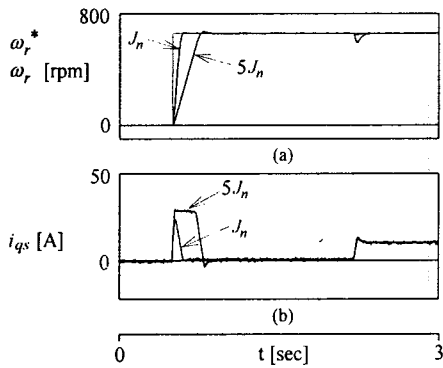


그림 9 관성에 의한 MRAC 퍼지제어기의 응답비교  
Fig. 9 Response Comparison of MRAC Fuzzy Controller with Inertia

에 비해 고속으로 추종하며 오버슈트가 매우 작게 나타나며 부하변화에 대한 속도의 변화도 매우 양호하게 나타난다. 그림 7(b)에서는 MRAC 퍼지제어기의 q축 전류는 빠르게 추종하고 있다.

그림 8에서는 관성을 5배 증가시켰을 때 퍼지제어기와 MRAC 퍼지제어기의 속도와 q축 전류를 비교한 결과이다. 관성을 증가시켰을 때 MRAC 퍼지제어기의 속도변화가 퍼지제어기에 비해 작게 나타나고 속도추종도 고속으로 나타나므로 MRAC 퍼지제어기의 응답특성이 매우 향상됨을 알 수 있다. 그림 9은 관성변화에 따른 MRAC 퍼지제어기의 응답특성을 비교한다.

그림 10은 관성을 10배 증가시키고 무부하 상태로 4상한 운전시 1.0[sec]에서 부하 1[pu]를 인가하였을 경우 응답특성을 나타낸다. 관성의 증가에 따라 지령 속도변화에 대한 실제속도는 크게 변화하고 부하를 인가했을 경우에는 속도의 변화가 감소한다. 그러나 MRAC 퍼지제어기는 종래의 퍼지제어기 보다 속도변화의 폭은 감소되고 실제속도가 지령속도에 양호하게 추종하고 있다. 본 논문에서 제시한 MRAC 퍼지제어기가 속도의 변화, 부하변화 및 관성변화 등의 광범위한 운전조건에서 종래의 퍼지제어기보다 응답특성이 매우 향상된다. 따라서 제시한 MRAC 퍼지제어기의 타당성을 입증할 수 있다.

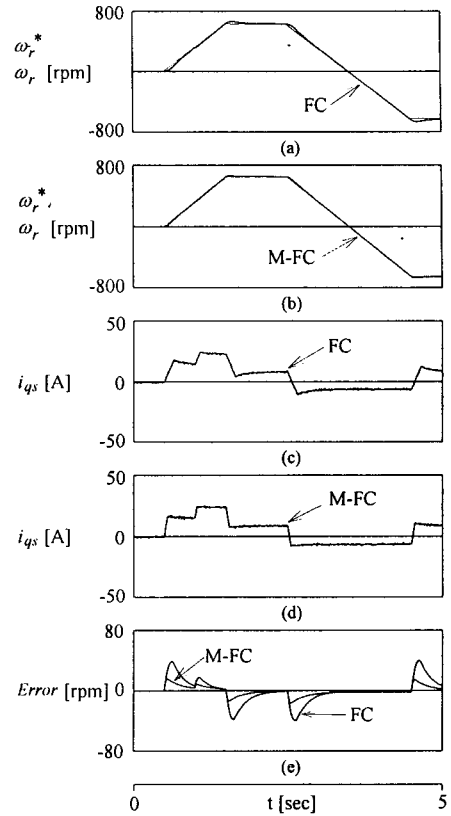


그림 10 4상한 동작에서 퍼지제어기와 MRAC 퍼지제어기의 응답비교 ( $J = 10J_n$ )

Fig. 10 Response Comparison with Fuzzy Controller and MRAC Fuzzy Controller in trapezoidal operation

## 6. 결 론

본 연구에서는 유도전동기 드라이브의 고성능 제어를 위하여 퍼지추론을 이용한 MRAC 퍼지제어기를 제시하였다. 제시한 퍼지제어기는 기준모델과 적응 퍼지제어기의 2개 블록을 종래의 퍼지제어기에 추가하고 종래의 퍼지제어기에서 사용한 퍼지논리를 응용하였다.

MRAC 퍼지제어기는 유도전동기의 지령 속도 변화와 부하 변화에 대하여 종래의 퍼지제어기 보다 양호한 응답특성이 나타났다. 그리고 관성 증가에 따른 동작조건 변화에 MRAC 퍼지제어기가 매우 고속으로 속도를 추종하며 안정화 시간도 빠르게 나타났다. 본 연구에서 제시한 MRAC 퍼지제어기를 종래의 퍼지제어기보다 응답특성이 매우 우수하게 나타났으며 제시한 MRAC 제어기의 타당성을 입증할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] E. Cerruto, A. Consoil, P. Kucer and A. Testa, "A fuzzy logic quasi sliding -mode controlled motor drive", in Proc. IEEE ISIE Conf. Rec., Budapest, Hungary, June 1-3, pp. 652~657, 1993.
- [2] K.J. Astrom and B. Wittenmark, "Adaptive control", Addison-Wesley, 1989.