# 동기전동기의 안정도 개선을 위한 퍼지 여자제어 시스템에 관한 연구

## Fuzzy Excitation Control System for the Stability Improvement of Synchronous Motor

이준탁, 이관태, 김경엽
동아대학교 전기 전자 컴퓨터 공학부

Joon-Tark Lee, Kwan-Tae Lee, Kyung-Yup Kim
Department of Electrical Engineering Dong-A University
E-mail : ktleeic@donga.ac.kr

### 요 약

동기전동기를 처음 기동시킬 때는 유도전동기와 같이 동작하게 된다. 회전자가 고정자 자계에 거의 도달하였을 때 DC 전류를 투입하게 되면, 회전자의 여자코일에 동기화 토크가 발생하게 된다. 그러나 동기화 토크의 부족은 회전자의 첫 동요 시, 회전자 각의 불안정을 야기하게 된다. 동기화 토크는 신속 정확한 동작 제어에 의해 회복될 수 있다. 더욱이 역률 100%의 안정도로 동작하기에는 어려운 부분이 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 퍼지 추론 기법을 이용한 여자 전류 제어 시스템을 제안하였다. 그 주된 원리는 다양한 부하 조건하에서 부하각과 역률 100%의 동작점을 추정하고, 퍼지 추론 기법에 의해 여자 전류를 제어하는 것이다. 제안된 퍼지 제어기는 각종 특수 동작 명령어로 사용되는 마이크로프로세서형 PLC(Programmable Logic Controller)를 사용하여 구현되었으며, 전기자 전류를 감지하는 제어전압 보상기, 비교기, 그리고 쵸퍼회로로 구성된 기존의 제어기에 비해 성능이 우수하다. 이는 일련의 실험을 통해 역률 100%에서의 개선된 안정적인 동작이 가능함을 보여주었다.

## 1. 서론

동기기는 정상운전 시 일정 주파수 전원에서 동기속도로 회전하는 교류기로서 계자를 직류 여자하여 유기기전력, 출력전압, 역률 및 전기자 전류의 크기를 조정하도록 되어 있다.[4] 그러하여 일반적으로 발전기로서 이용되어왔다. 한편, 동기기가 동기전동기로 이용될 때에도 동작원리상 난조나 불안정 현상 그리고 부하에 따른 역률의 저하문제 등을 극복하기 위해 여자특성 조정은 필수적이다. 그러므로 동기전동기에서도 동일한 여자제어 시스템으로 동기전동기의 입력전류, 역률, 안정도를 조정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 동기기를 전동기로 사용할 때의 역률 및 안정도 특성을 향상시키기 위하여 고전적 시스템과, FLC(Fuzzy Logic Controller)를 이용한 퍼지 여자시스템을 설계하여 실험하였는데, 그 과정은 첫번째로 동기전동기의 전기자 전류를 검출하여 보상기, 비교기, 쵸퍼회로로 구성된 고전적 제어기법으로 실험하였고, 두번째는 마이크로프로세서를 이용하여 시스템의 부하각을 검출하고, FLC (Fuzzy Logic Controller)를 구성하여 퍼지 제어기법으로 실험하였다. 부하변화에 따른 동기전동기의 상전류를 검출하여 보상기 전압으로 변환하는 종래의 고전적 여자제어 시스템과는 달리, 제안된 퍼지 여자제어 시스템에서는 관심의 대상인 부하각을 직접 검출하여 역률이 항상 1이 되도록 여자전류를 제어함으로써 운전의 안정도 개선은 물론 수전설비의 용량 감소에도 기여하게 하였다. 이처럼 각종 부하에 대한 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 퍼지 여자제어 시스템의 우수성을 입증하고자 하였다.

## 2. 동기전동기의 특성

### 2.1 동기전동기의 일반적 특성

극수 P의 3상 동기기 고정자 권선에 주파수 F [Hz] 의 3상 교류전압을 인가하면, 고정자에는 동기속도 $N_s = \frac{120F}{P}$ [RPM]에 상당하는 회전자의 회전자계가 발생한다. 그러나 동기전동기는 유도전동기로 기동되므로, 부하에 상당하는 슬립 주파수 SF [Hz]를 갖고 운전된다. 이 때, 임의 시각 $t$에서 회전자 위치는

$$\delta = w \cdot t + \delta_0 \qquad (1)$$

로 된다. $\delta_0$는 $t = 0$에서의 고정자의 자기 축을 기준한 회전자의 각 위치, 즉 부하에 따라 증감되는 상차각 또는 부하각이다.[2] 유도기 모드에서 발생하는 토크는 통상,

(1) 극면의 제동권선에 의한 전류
(2) 극면의 과전류
(3) 여자권선에 유기되는 전류

에 기인한다. 이들 세 전류원에 의해 발생되는 토크는, 유도기와 비슷한 형태로 작용하지만, 특이한 점은 제동권선이 대칭적으로 작용하지 않는다는 점과 회전자의 돌극성이 회전자 위치에 따라 릴럭턴스(Reluctance)를 변화시키기 때문에 토크의 맥동은 물론, 슬립이 변동되게 된다는 것이다. 동기화 토크에서 중요한 것은 직류 여자 투입 시에 해당하는 부하각에 따른 동기화 토크가 원통형일 경우 $\sin\delta$에 비례하고, 돌극형 일 경우 $\sin\delta$ 및 $\sin 2\delta$에 비례한다. 따라서 여자를 투입하는 투입각 $\delta_{inj}$가 고정자의 전기적 입력과 출력의 차분, 즉 슬립 보상 에너지에 상당하는 동기화 토크를 얻을 수 있느냐에 대한 결정적 요인이 된다. 따라서, 동기전동기의 안정 운전여부는 최적의 스위칭 각, $\delta_{lxst}$에서 여자를 투입하느냐에 의존하게 되며, 통상 동기 인입할 수 있는 적당한 스위칭 각은, $\delta = 180^\circ$가 될 때까지 동기화 토크가 회전자를 가속시키기 위해, 양의 방향으로 작용하는 $\delta \geq 0^\circ$ 근처의 값이다. 즉, 이 지점은 회전자계와 고정자의 쇄교 자속이 최대인 지점으로 작용할 때이다. 반면, 최악의 스위칭인 $\delta \geq \pi$[rad]일 때는 전동기와 부하를 충분히 가속시킬 수 없을 정도로 동기화 토크가 적어져서 동기인입 할 수 없게 되는 경우도 있다.

이처럼 동기전동기의 동기인입현상 해석을 위한 기기 자체의 부하각과 여자에 따른 새로운 토크 및 속도변화와의 관계는 복잡한 비선형 미분방정식으로 나타나게 되며, 이들 과도속도 특성의 변화는 동기기의 안정제어와 밀접한 관계를 갖고 있다. 즉, 난조와 탈조와 같은 불안정 운전을 수반하지 않도록 여자를 투입하는 슬립 및 회전자의 위치가 대단히 중요하다. 이의 해석을 위해 다음과 같은 가정을 둔다.

가정 (1) 전기자저항, 회전자 누설리액턴스 및 자기 재료의 포화를 무시한다.
(2) 전자기적 과도현상의 시정수는 기계적 과도현상의 시정수에 비해 매우 빠르므로, 전자기적 과도현상은 무시한다.
(3) 전기자 권선은 대칭이다.
(4) 공극의 리액턴스는 균일하다.
(5) 유도전동기 모드에서 일정한 작은 슬립 점에서 운전되고 있다.

이상의 가정 하에서 임의의 부하각 및 슬립에서의 여자가 투입된다면, 여자가 확립되면서 동기화 토크는 순간적으로 증가되고, 동기전동기의 슬립-토크의 해곡선을 따라 전동기와 부하를 가속시켜 동기속도에 도달하게 된다. 그러나 어떠한 여자투입 위상각 $\delta_{inj}$와 슬립의 초기치 로부터 동기인입 되는 최악의 각이 존재하며, 동기인입의 여부는 여자투입시점의 $\delta_{inj}$및 슬립 이외에도 제동비, 부하비, 여자시정수 등 각종 전기기계적 파라미터와 밀접한 관련을 맺고 있다.

### 2.1 동기전동기의 동특성 모델링

동기전동기의 토크 운동 특성방정식은

$$\frac{4\pi J}{360P} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} + T_{im} \cdot (1 - b \cdot \cos 2\delta) \cdot \frac{d\delta}{dt} + T_{sm} \cdot \sin\delta \cdot F(t, \theta_f) + T_r \cdot \sin 2\delta = T_l \qquad (2)$$

와 같이 표현된다. 여기서, $\delta$는 고정자 단자전압과 직류여자에 의해 동일 상에서 유기되는 전압과의 위상차이다. 식 (2)의 첫 항의 계수 $\frac{4\pi J}{360P}$는 회전자와 이에 접속된 부하 회전체의 가속에 기인한 토크 성분으로서, 관성에 비례하고 극수에 반비례한다. 식(2)의 제 2항은 슬립이 $\frac{d\delta}{dt}$에 비례하므로, 평행 다상 회전자구조에 대한 통상의 유도전동기 토크 항으로서, 회전자가 돌극일 경우 $(1 - b \cdot \cos 2\delta)$를 포함한다. b는 제동권선의 비대칭 및 돌극에 의한 맥동계수로서 동기인입에 앞선 슬립 맥동의 크기를 증가시키는데 기여하며,

$$b = \frac{\frac{X_q' \cdot T_{d0}''}{X_{d0}' \cdot T_{q0}''} - \frac{X_q' - X_q''}{X_d' - X_d''}}{\frac{X_q' \cdot T_{d0}''}{X_{d0}' \cdot T_{q0}''} + \frac{X_q' - X_q''}{X_d' - X_d''}} \quad (3)$$

단, $T_{d0}''$ : 직축 전기자 권선의 단락회로 시정수
$T_{q0}''$ : 횡축 전기자 권선의 단락회로 시정수
$X_d'$ : 직축 과도리액턴스
$X_d''$ : 직축 초기과도리액턴스

로 정의된다. 식 (2)의 제 3항 및 제 4항은 여자투입 후의 동기전동기의 동기화 토크를 나타내고 있다.

$$T_s = \frac{N}{w_s} \cdot \frac{V \cdot E \cdot \sin\delta \cdot F(t, \theta_f)}{X_d} + \frac{V \cdot (X_d - X_q \cdot \sin 2\delta}{2 \cdot X_d \cdot X_q} \quad (4)$$

다시 간단히 쓰면,

$$T_s = T_{sm} \cdot \sin\delta \cdot F(t, \theta_f) + T_r \cdot \sin 2\delta \quad (5)$$

로 된다. 여기서,

$$T_{sm} = \frac{N}{w_s} \cdot \frac{V \cdot E}{X_d} \quad (6)$$

및

$$T_r = \frac{N \cdot V \cdot (X_d - X_q)}{2 \cdot w_s \cdot X_d \cdot X_q} \quad (7)$$

이다. 여기서, $X_d$및 $X_q$는 동기기의 직, 횡축 리액턴스이다. 그런데 식 (5)에서 동기화에 대한 여자 시정수항의 영향은 $F(t, \theta_f)$로 식 (8)과 같이 표현 된다.

$$F(t, \theta_f) = 1 - \exp(-t/T_d) \cdot \sin\theta_f \quad (8)$$

식 (2)를 간단히 하기 위해 독립변수를

$$t = \tau \cdot \sqrt{\frac{4J\pi}{360P} \cdot T_{sm}} = \alpha \cdot \tau \quad (9)$$

으로 변환하면,

$$\frac{d}{dt} = \frac{d}{\alpha \cdot d\tau} \quad (10)$$

및

$$\frac{d^2}{dt^2} = \frac{d^2}{(\alpha \cdot d\tau)^2} \quad (11)$$

로 되므로, 식 (12) 및 식 (13)을 얻을 수 있다.

$$T_{sm} \cdot \frac{d^2\delta}{d\tau^2} + T_{im} \cdot (1 - b \cdot \cos 2\delta) \cdot \frac{d\delta}{d\tau} + T_{sm} \cdot \sin\delta \cdot F(\tau, \theta_f') + T_r \cdot \sin 2\delta = T_l \quad (12)$$

$$\frac{d^2\delta}{d\tau^2} + D \cdot (1 - b \cdot c\,2\delta) \cdot \frac{d\delta}{d\tau} + s\delta \cdot F(\tau, \theta_f') + \frac{T_r}{T_{sm}} \cdot \sin 2\delta = \frac{T_l}{T_{sm}} \quad (13)$$

또한, $g = \frac{T_r}{T_{sm}}$ 및 부하비를 $\beta = \frac{T_l}{T_{sm}}$로 정의하면,

$$\frac{d^2\delta}{d\tau^2} + D \cdot (1 - b \cdot \cos 2\delta) \cdot \frac{d\delta}{d\tau} + \sin\delta \cdot F(\tau, \theta_f) + g \cdot \sin 2\delta = \beta \quad (14)$$

로 된다. 단 $D = \frac{T_{im}}{\alpha}$이다. 원통형인 경우, $X_d = X_q$이므로, $g = 0$, $b = 0$이 된다.

## 3. 여자전류 제어기 설계

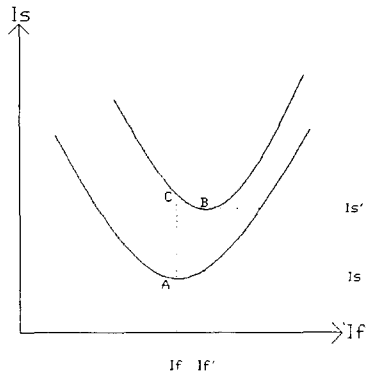



그림 1 부하변화에 따른 V곡선

이 실험에서 제어되어야 할 대상은 Synchronous Motor의 여자전류이다.

그림 1의 곡선에서, 무부하시 역률1의 지점은 여자전류 $I_f$와 전기자 전류 $I_s$가 만나는 A지점이다. 만약 여자전류 $I_f$가 이 A지점보다 앞쪽에 위치한다면, 지상전류(Lag Current)가 흐르게 된다. 이때 부하가 증가하게 되면 전기자 전류 $I_s$가 증가하여 C지점으로 이동하게 된다. 그렇게 되면 여자전류 $I_f$가 변하지 않은 상태에서 C지점으로 이동하였기 때문에 앞에서 말한바와 같이 계통에는 지상전류가 흐르게 된다.

이 곡선에서 다시 역률1로 만들기 위해서는 전기자전류 $I_s$를 $I_s'$의 지점으로 이동 시켜야 한다. 그러기 위해서는 여자전류 $I_f$또한 $I_f'$의 위치로 이동시켜 B지점에 위치하도록 하여야한다.

### 3.1 고전적인 여자전류 제어기 설계

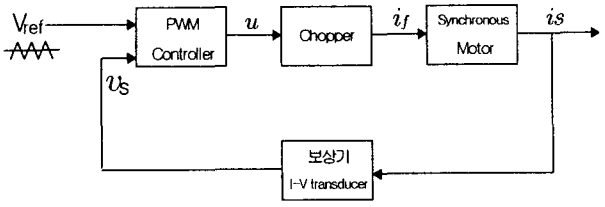



그림 2 고전적인 여자시스템의 구성

고전적 제어기에서 제안되어진 시스템은 삼각파 발생기($V_{ref}$)와 보상기(I-V transducer), 쵸퍼(Chopper), PWM Controller 로 구성 되었다. 보상기에서 전기자 전류 $i_s$를 검출하여 $v_s$로 변환하게 되고, PWM 제어기는 변환되어진 $v_s$와 $V_{ref}$가 되는 삼각파를 비교하여, 그 만큼에 해당하는 PWM 펄스 duty비를 변화 시킨다.

고전적인 여자전류 제어의 실험을 위한 시스템은 CT로 전기자 전류 $I_s$를 검출하는 보상기와 삼각파 발생기(기준전압발생), 보상기에 의해 검출되어진 전압 $V_s$와 삼각파를 비교해서 PWM 펄스를 발생시킬 비교기와 이 펄스에 의해 여자전류를 제어하는 쵸퍼(chopper)회로로 구성하였다. 부하의 변화에 의해 발생한 전기자 전류 $I_s$의 오차분에 해당하는 보상기의 출력전압 $V_s$를 $I_s$가 역률 $\cos\phi = 1$인 지점으로 이동할 수 있도록 설계 되었다.

### 3.2 퍼지 여자전류 제어기 설계

퍼지 여자 제어기를 설계하기 위한 첫 단계는 입출력 제어기의 변수를 결정하고, 제어기의 입출력 변수의 값의 범위를 결정해야 한다.[3] 두 번째는 각 입출력을 위해 퍼지 멤버쉽 함수로 결정된 각 입출력 퍼지값을 사용하기 위하여 선택하여야 하고, 세번째는 퍼지 제어 규칙베이스를 구성해야 한다. 멤버쉽 함수와 퍼지 제어 규칙의 구성은 FLC를 설계하는데 있어 매우 중요하다. 보상기 시스템에 기반을 둔 퍼지 논리의 기본적인 블록 다이어그램의 구성은 그림 3과 같다.

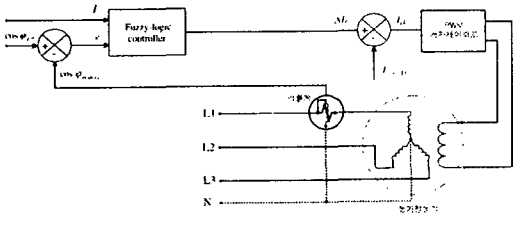


그림 3 퍼지 여자제어 시스템의 구성

퍼지 제어기를 구성하는 입력 변수는 역률의 오차 $e$ 와 전기자전류 $I_s$이다. 여자전류의 변화 $\Delta I_f$는 출력 변수로 정의 되고, 역률오차 $e$는 기준역률$\phi_{\mathrm{ref}}$ 과 시스템 역률 $\phi_{\mathrm{system}}$의 차로서, 식 (15)와 같이 정의된다.

$$e = \cos\phi_{\mathrm{ref}} - \cos\phi_{\mathrm{system}} \qquad (15)$$

전기자 전류는 회로와 연결되는 전류계에 의해 측정되고 제어기의 입력에 적용된다. 퍼지 제어기 출력은 여자 전류의 편차 $\Delta I_f$를 정의한다. 동기전동기의 여자 전류 $I_{fk}$ 는 식 (16)에 주어진 여자전류의 이전 값 $I_{f(k-1)}$에서 여자 전류의 변화량 $\Delta I_f$을 더함으로서 계산된다.

$$I_{f(k)} = I_{f(k-1)} + \Delta I_f \qquad (16)$$

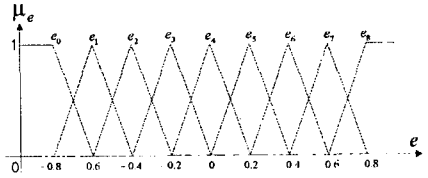


그림 4 역률 오차의 멤버쉽 함수

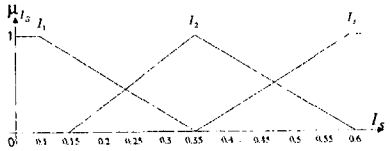


그림 5 여자전류 $I_S$의 멤버쉽 함수

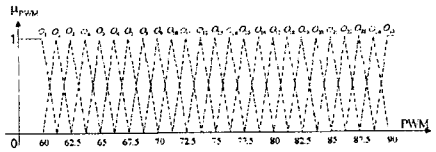


그림 6 여자전류제어를 위한 PWM 펄스의 듀티비 멤버쉽 함수

본 논문에서는 $e$의 8개의 언어 레벨 , $I_s$를 위해 3개의 언어 레벨 및 $\Delta I_f$[PWM]를 위해 25개의 언어 레벨이 선택되었다. 퍼지 입력 변수 $e$와 $I_s$, 출력변수 $\Delta I_f$의 멤버쉽 함수는 대칭 삼각형 모양으로 설계되고 그림 4와 5, 6에 각각 보여 진다.

이 연구에서, 퍼지 제어 규칙 테이블은 시스템의 수학적 모델링을 사용하는 것을 대신하여 고전적 여자제어기에서 이미 얻어진 PWM 펄스의 duty비라든지, 전기자전류의 범위, 오차를 사용하여 만든다. 표 1에 주어진 퍼지 여자 제어기 설계에 사용된 27개의 제어규칙이 있는데, 이는 몇

번의 실험을 거쳐 얻어진 결과이다. 분리된 규칙은 테이블 안에 주어진 각각의 경우에 설계되고, 테이블에서 보다시피 전체 규칙의 수는 27이다. 얻어진 규칙은 아래에 주어진 형태와 같다.

| | $e_0$ | $e_1$ | $e_2$ | $e_3$ | $e_4$ | $e_5$ | $e_6$ | $e_7$ | $e_8$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_1$ | $O_1$ | $O_2$ | $O_3$ | $O_4$ | $O_5$ | $O_6$ | $O_7$ | $O_8$ | $O_9$ |
| $I_2$ | $O_9$ | $O_{10}$ | $O_{11}$ | $O_{12}$ | $O_{13}$ | $O_{14}$ | $O_{15}$ | $O_{16}$ | $O_{1}$ |
| $I_3$ | $O_{17}$ | $O_{18}$ | $O_{19}$ | $O_{20}$ | $O_{21}$ | $O_{22}$ | $O_{23}$ | $O_{24}$ | $O_{2}$ |

표 1 퍼지 제어를 위한 룰 테이블

if $(I_s = I_1)$ and $(e = e_0)$ then $\Delta I_f = O_1$
if $(I_s = I_2)$ and $(e = e_2)$ then $\Delta I_f = O_{11}$
if $(I_s = I_3)$ and $(e = e_4)$ then $\Delta I_f = O_{21}$
.
.
.

## 4. 실험 및 결과

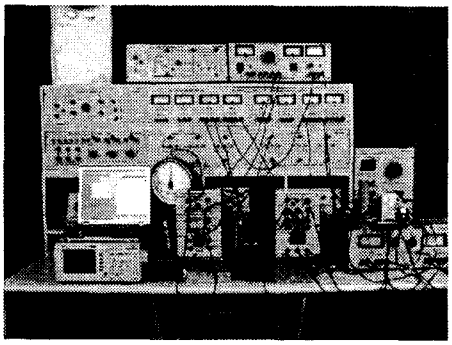


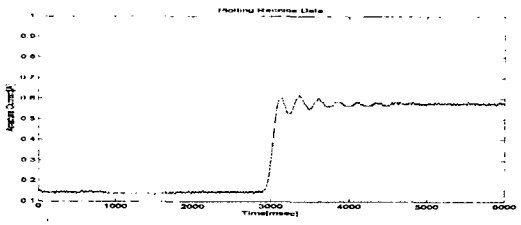
그림 7 실험 세트

본 실험은 ED에서 생산된 M/G SYSTEM을 이용하여 진행되었다. 먼저, 동기기 장치와 동력계를 커플링을 이용하여 기계적으로 연결하고, 다음 동기기는 전동기 모드로 동작하도록 결선하였다. 동력계는 타려식 발전기로 결선하고, 그 부하로 가변저항기를 접속해 저항을 3단으로 조정하여 발전기의 부하로 사용하였다.

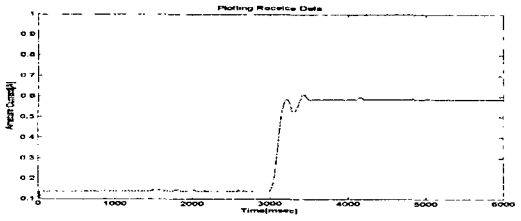
| Synchronous Motor ( ED-SM-250-3 ) | | Electro-Dynamometer ( ED-DYN-250 ) | |
|---|---|---|---|
| Speed | 1800 RPM | Speed | 1800 RPM |
| Voltage | 208V-3φ(Y) | Winding Type | ShuntSeries Compound |
| Alternator Power | 120 VA | Motor Power | 1/3 HP |
| Load Current | 0.2 A | Armature Voltage | 130 V DC |
| Motor Power | 1/3 HP | Armature Current | 2.4 A DC |
| Motor Current | 1.7A | Generator Output | 130 V,2.3 A |
| Frequency | 60 Hz | Shunt Field Exc. | 0.5A(125 V) |

표 2 실험에 사용된 동기전동기의 규격

### 4.1 여자전류의 변화



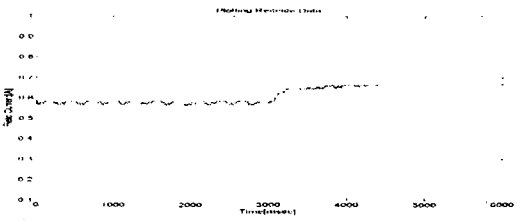
(a) 고전적인 제어기에서 $I_s$ 변화



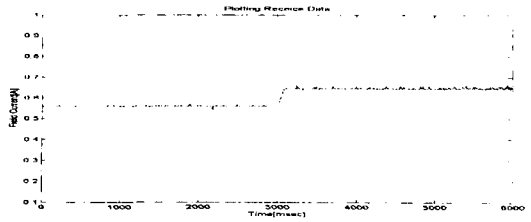
(b) 퍼지 제어기에서 $I_s$ 변화

그림 8 부하변화에 따른 $I_s$의 변화

그림 8의 (a)는 고전적인 제어기에서의 전기자 전류 변화를 나타내었다. 무부하로 운전 중 동력계의 부하로 171.4[Ω]을 인가하였을 때, $I_s$가 0.15[A]에서 0.59[A]로 증가함을 나타내었고, (b)는 퍼지 제어기에서의 전기자전류의 변화를 나타내었는데, (a)의 그래프에서는 전류가 증가 할 때 큰 진동이 발생되었는데, 이는 전기자 전류에 비례하여 여자전류를 제어함으로서, 목표값에 수렴하기 위해서는 1.5초정도의 시간이 소요가 됨을 알 수 있었다.
반면 (b)의 퍼지 여자제어기에서는 부하각을 검출하는 방식으로 인하여 전류 증가 시 큰 진동 없이 0.5초 이내의 빠른 시간 안에 목표값에 수렴함을 볼 수 있었다.



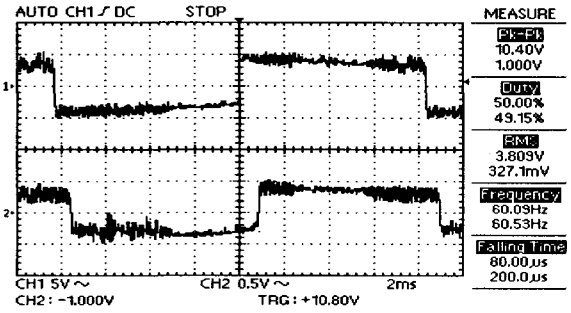
(a) 고전적인 제어기에서 $I_\xi$ 변화



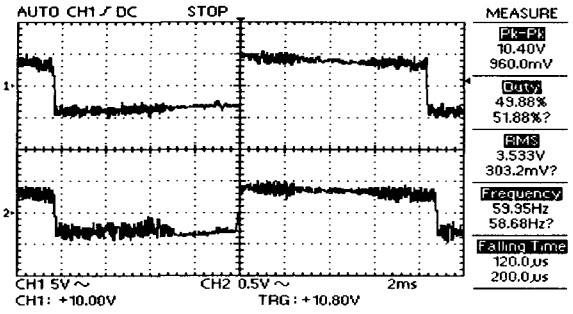
(b) 퍼지 제어기에서 $I_f$ 변화

그림 9 부하변화에 따른 $I_f$의 변화

그림 9의 (a)는 고전적인 제어기에서의 전기자 전류에 비례하여 증가되는 여자전류$I_f$를 나타내었는데, $I_s$가 증가하면 그에 비례하는 만큼의 PWM 펄스의 듀티비가 증가하게 된다. 이때 전기자 전류의 진동에 의해 그 듀티비도 따라 변하기 때문에 $I_f$의 증가도 천천히 이루어질 수밖에 없다. 반면, (b)는 퍼지 제어기에서의 상태를 나타내었는데, 부하가 증가하여 부하각이 발생되면 그 오차를 0으로 두기 위해 바로 퍼지제어가 수행되어 전기자전류의 진동에 관계없이 바로 목표값으로 상승함을 알 수 있었다.




(a) $V_p$와 $I_s$의 위상차




(b) 제어 후 $V_p$와 $I_s$의 동상상태

그림 10 부하각 발생시 퍼지제어 후 위상차

그림 10의 (a)는 부하 인가 시 상전압 $V_p$와 전기자 전류 $I_s$의 위상차를 나타내었고, (b)는 위상차 발생시 퍼지 제어 후 두 위상의 동상을 나타내었다.

이와 같은 결과는 전기자 전류가 상승할 때 그에 비례하는 여자전류의 증가분을 제어하는 고전적인 제어기 보다는 전압과 전류의 위상을 검출하여 동기전동기의 부하각을 0으로 제어하기 위한 퍼지 여자제어기의 우수성을 입증 할 수 있었다.

## 5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 동기전동기의 역률과 안정도를 퍼지 여자제어 시스템에 의해 개선하고자 하였는데, 고전적 여자제어 시스템은 초기 구동 시 역률 1의 지점을 위해 수동으로 비교기의 저항을 조절해 주어야 하고 보상기의 출력전압을 부하의 변화에 비례하여 상승할 수 있도록 조정해 주어야한다. 그러나 퍼지 여자제어기는 전기자 전류 $I_s$의 크기만을 검출하는 고전적인 여자제어기의 제어기법과는 달리, 고정자의 상전압 $V_p$와 전기자 전류 $I_s$의 위상을 검출하여 두 파형의 위상차를 0으로 줄이기 위해 퍼지제어를 실행함으로써 보다 정밀하고 안정된 제어가 가능하였고, 고전적 여자제어기에서 발생되었던 전기자 전류에 의한 보상기 전압의 진동을 해결할 수 있었다. 실험결과에서도 증명되었듯이 역률 1 즉, $\cos\phi = 1$의 상태로 운전하기 위해서는 고전적인 여자 제어기보다는 퍼지 여자 제어기가 보다 안정적이고 정밀함을 증명할 수 있었다.

## 6. 참고문헌

[1] I.Colak, R.Bayindir, I.Sefa, "Experimental study on reactive power compensation using a fuzzy logic controlled synchronous motor" Energy Conversion and Management XXX (2004) XXX-XXX (article in press)

[2] 이준탁, "Lyapunov 函數에 依한 交流電動機의 安定度解析에 관한 硏究", 박사학위논문, 중앙대학교, 1988

[3] 송호신, "자기 조정 퍼지 제어기에 의한 유도전동기의 가변속 운전", 박사학위논문, 동아대학교, 1993.

[4] 강만원, "동기전동기의 정상상태 특성해석", 대전공업대학 논문집 제13권 2집,1996. 12