

퍼지 알고리즘을 이용한 DC 모터 속도제어

김운호, 윤병도, 조성진*

중앙대학교전기공학과

DC Motor Speed Control Using Fuzzy Algorithm

Yoon-Ho Kim, Byung-Do Yoon, Sung-Jin Cho*
Dept. of Electrical Eng. Chung-Ang University

ABSTRACT

The series type DC motor is normally nonlinearly modeled, but in this paper, the nonlinear model is linearized for the speed control. The proposed algorithm is constructed by the fuzzy logic controllers. Then the system is investigated for the effects of changes by the scale factor, and fuzziness of fuzzy variables.

1. 서론

퍼지논리를 토대로한 퍼지제어는 사람의 전문가적 지식을 획득하고 불확실성을 처리하는 수단으로 Zadeh 와 Mamdani에 의해서 제안되었다. [1] 퍼지 논리는 기존의 논리체계 보다는 훨씬 더 인간의 사고방식과 언어체계에 유사한 논리이며 불확실성과 애매한 사실을 표시하는 효과적인 수단을 제공한다. 그리고 대상 플랜트에 대한 정보가 언어적인 수단으로만 표현이 가능한 경우나 수학적 연산으로 처리하기 매우 힘들 경우에 퍼지 논리를 이용한 제어를 유용하게 사용할 수 있다.

최근 퍼지제어를 적용한 예로서 지하철 제어, 항공기, 폐수 처리, 엘리베이터 제어등 다각적으로 응용되고 있으며 기존의 제어이론으로 제어하기 어려운 대상을 성공적으로 제어하였다. 본 논문에서는 DC 모터, 특히 비선형 특성을 갖는 직권 계자 전동기의 속도제어를 위해서 퍼지 알고리즘을 적용 하여 퍼지 변수의 퍼지니스와, scale factor의 변화에 따른 시스템에 미치는 영향등에 대해서 고찰하였다.

2. DC 직권 전동기의 수학적 모델링

2-1. 직권전동기의 모델링

현재 사용되고 있는 직류 전동기중 타여자 전동기는 선형 특성을 갖기 때문에 제어가 비교적 용이하나 이에비해 직권 전동기는 비선형 특성을 갖기 때문에 제어가 상대적으로 용이하지 않다.

2-2. 직권 전동기

직류 직권 전동기의 일반적인 시스템 방정식은 다음과 같다.

$$V_a(t) = R_m i_a(t) + L_m \frac{di_a(t)}{dt} + e_g(t) \quad (1)$$

$$e_g(t) = K_v i_a(t) \omega(t) \quad (2)$$

$$T_d(t) = K_t i_a^2(t) \quad (3)$$

$$T_d(t) = J_m \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \omega(t) \quad (4)$$

2-3. 선형화 모델

위 식에서 알 수 있는 바와 같이 시스템 방정식이 비선형인 관계로 주어진다. 따라서 위 식들을 선형화 시키기 위해 역기전력 상수 K_v 와 파라미터들이 변하지 않고, 상수로 남아있다고 가정하고 이식들을 동작점 부근에서 소신호 외란을 주어 선형화 시키면 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\Delta V_a = R_m \Delta i_a + L_m \frac{d(\Delta i_a)}{dt} + \Delta e_g \quad (5)$$

$$\Delta e_g = K_v (I_{a0} \Delta \omega + \omega_0 \Delta i_a) \quad (6)$$

$$\Delta T_d = 2 K_v I_{a0} \Delta i_a \quad (7)$$

$$\Delta T_d = J \frac{d(\Delta \omega)}{dt} + B \Delta \omega + \Delta T_L \quad (8)$$

위 식들을 행렬식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} \Delta I_a(s) \\ \Delta \omega(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-R_m + K_v \omega_0}{L_m} & \frac{-K_v I_{a0}}{L_m} \\ \frac{-2K_v I_{a0}}{J} & \frac{-B}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta I_a(s) \\ \Delta \omega(s) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L_m} \\ 0 \end{pmatrix} \Delta V_a + \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{1}{J} \end{pmatrix} \Delta T_L \quad (9)$$

여기서 I_{a0} : 동작점에서의 전동기 전류
 ω_0 : 동작점에서의 전동기 속도

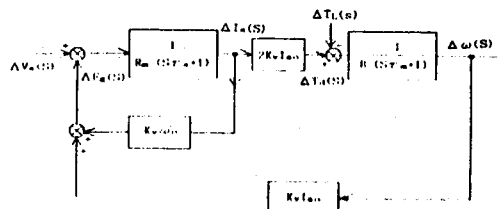


그림1. 선형화 모델의 블록선도

3. FLC (Fuzzy Logic Controller) 의 설계

본 논문에서는 직권 계자 전동기의 속도 제어를 위해서 PI-type의 퍼지 제어기를 설계 하며 불럭선도는 그림2.와 같다.

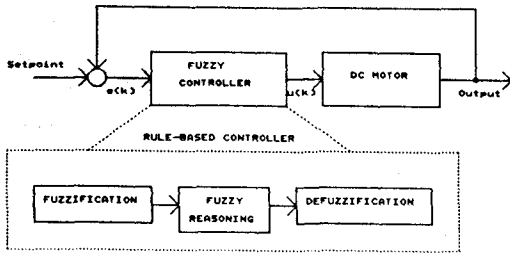


그림2. PI-type 퍼지 제어기의 불럭선도

3.1 제어기의 입력력 변수 정의 및 멤버십 함수

제어기의 입력변수를 오차(e(k))와 오차의 변화량(de(k))으로 하고 출력변수는 제어입력(du(k))으로 하였으며 다음과 같이 정의된다.

$$\text{오차} : e(k) = \text{setpoint(설정치)} - \text{output(모터의 속도)} \quad (10)$$

$$\text{오차의 변화량} : de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (11)$$

$$\text{제어기의 출력} : du(k) \quad (12)$$

여기에서 식(12)의 du(k)는 e(k)와 de(k)에 의해서 결정되며 측정된 입력변수 및 제어변수의 Fuzzify를 하기위해 본 논문에서는 비교적 계산이 용이한 삼각형 형태의 멤버십 함수를 선정하였으며 그림3.에 나타냈다.

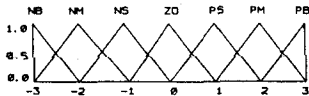


그림3. 멤버십 함수

3.2 제어규칙

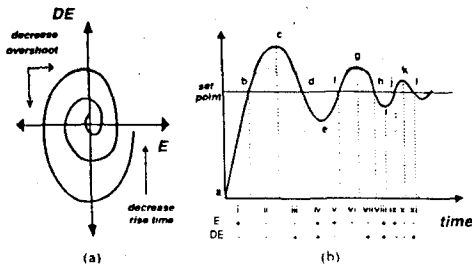


그림4. 오차, 오차의 변화량 분포
(a) 상평면 (b) 시스템 응답

Rule No.	E	dE	dU	Reference Point
1	PB	ZO	PB	a
2	PM	ZO	PM	e
3	PS	ZO	PS	i
4	ZO	NB	NB	b
5	ZO	NM	NM	f
6	ZO	NS	NS	j
7	NB	ZO	NB	c
8	NM	ZO	NM	g
9	NS	ZO	NS	k
10	ZO	PB	PB	d
11	ZO	PM	PM	h
12	ZO	PS	PS	l
13	ZO	ZO	ZO	목표치

표1. 시스템 응답에 따른 제어규칙 기반

일반적으로 제어규칙은 전문가의 경험과 지식을 토대로하며 본 논문은 그림4.와 표1을 근거로 제어규칙을 만들었다. 제어 변수 e(k), de(k), du(k)에 대한 언어변수는 7개이며 다음과 같이 정의하였다.

Change in Error

	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

표2. 전체 제어규칙

3.3 퍼지추론 및 Defuzzification

퍼지추론은 퍼지 제어기의 핵심이라 볼 수 있으며 실제 입력에 주어졌을때 적용 가능한 제어규칙을 이용하여서 퍼지추론을 함으로써 출력을 계산한다. 본 논문에서는 퍼지추론 방법으로 Mamdani가 제안한 최소연산규칙(Minimum Operation Rule)을 사용하였다. 즉 최대-최소 합성을 이용한다. 멤버십 함수의 모호한 정도에 따라서 측정된 입력변수 값 (x1, x2)에 적용 되는 규칙은 여러개이며 적용되는 규칙들이 제어기 출력 계산에 영향을 미치는 정도는 각각 다르다. 최대-최소 합성법을 식(13)와 (14)에 나타냈으며 여기서 Ni는 규칙의 수이고, Ei, DEi, DUi는 i번째 규칙에 쓰인 퍼지변수이다.

$$\alpha_i = \min(\mu_{Ei}(x1), \mu_{DEi}(x2)), \quad i=1, \dots, N \quad (13)$$

$$\mu_{DU}(du) = \max(\min(\alpha_i, \mu_{DUi}(du)), \quad i=1, \dots, N \quad (14)$$

퍼지추론 장치의 추론결과로서 얻어지는 데이터는 퍼지집합인데 실제의 플랫폼를 제어하기 위해서는 비퍼지화 정확한 제어 출력을 발생시켜야 한다. 본논문에서는 비퍼지화 방법으로 퍼지제어에 가장 많이 쓰이고 있는 무게중심법을 이용하였으며 무게 중심법은 다음과 같이 표현된다.

$$du = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(w_i) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n \mu(w_i)}$$

여기에서 n은 제어규칙의 수, $\mu(w_i)$ 는 멤버십 함수, w_i 는 멤버십 함수가 최대값을 갖을 때의 support값이다.

4. 시뮬레이션 및 결과 검토

시뮬레이션에 사용된 직권 계류 전동기의 파라미터는 표3.과 같고 본 논문은 scale factor의 변화에 따른 시스템의 영향, 퍼지니스의 크기에 따른 시스템의 영향등에 대해서 고찰하였으며 시스템의 개략적인 흐름도를 그림5.에 표시하였다. 시뮬레이션에 대한 결과를 그림6., 그림7., 그림8., 그림9., 그림10.에 제시하였다.

Armature Resistance Ra : 1 [Ω]
Armature Inductance La : 40 [mH]
Back emf Constant Kb : 0.027 [V/rnd/sec]
Torque Constant Kt : 0.55 [Nm/A]
Rotor Inertia of Motor Jm : 0.0465 [kg·m ²]
Viscouse Frictional Coefficient Bm : 0.004 [kg·m ² /sec]

표3. DC모터 파라미터

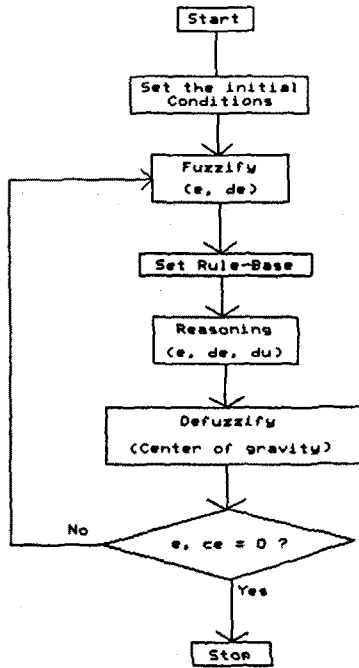


그림6. 시스템 흐름도

4.1 scale factor의 변화에 따른 영향

Scale factor를 어떻게 결정하느냐에 따라서 시스템 성능은 큰 변화를 보임을 알 수 있다. 본 논문에서는 오차(E)의 scale factor, 오차의 변화율(de)에 대한 scale factor, 플랜트 제어 입력(dI)의 scale factor를 변화시켜 그에 따른 시스템 특성을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

i) E의 scale factor에 따른 영향 (그림6)

E의 scale factor를 증가시킴에 따라 시스템 성능에 영향을 미침을 알 수 있다. 이것은 오차를 상대적으로 작게 감지하여 이에 대응하는 제어량이 입력되어 상승시간이 늦어지고 정상 상태 도달시간이 느려짐을 알 수 있다.

ii) de의 scale factor에 따른 영향 (그림7)

de의 scale factor를 증가시킴에 따라 시스템 성능이 향상됨을 알 수 있는데 이것은 예측을 더 넓은 범위에서 하기 때문에 상승시간이 빨라지고 정상상태 도달시간이 단축된다.

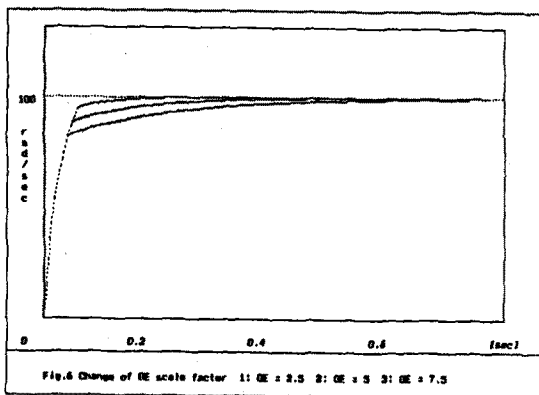


그림6. E의 scale factor에 따른 영향

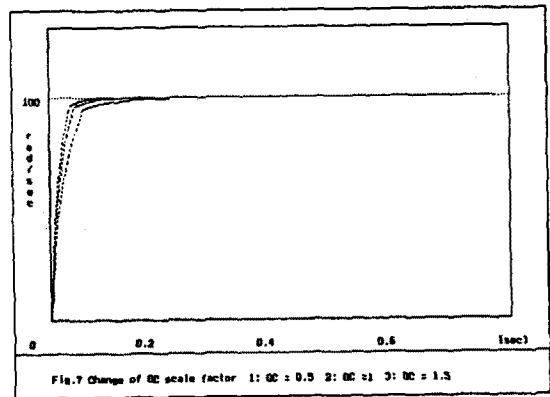


그림7. de의 scale factor에 따른 영향

iii) dI의 scale factor에 따른 영향 (그림8)

dI의 scale factor를 증가시킴에 따라 시스템 성능이 향상됨을 알 수 있었으며 이것은 scale factor를 증가시키기 전보다 더 많은 제어입력이 들어가 상승시간이 빨라지고 정상상태 도달시간이 빨라지게 된다.

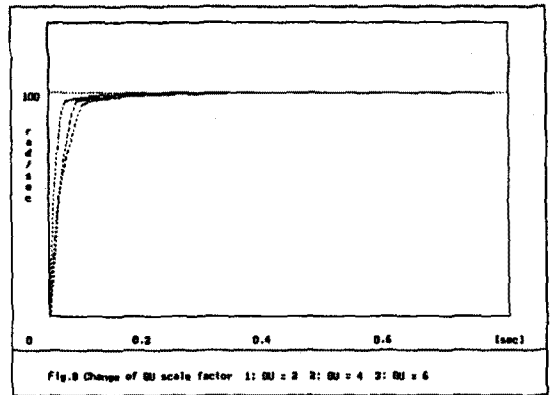


그림8. dI의 scale factor에 따른 영향

4.2 퍼지변수의 퍼지니스의 본포에 따른 영향

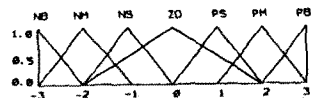
퍼지변수의 퍼지니스에 따른 시스템의 영향을 알아보기 위하여 퍼지변수 ZO와 PB, NB의 퍼지니스를 변화시켜 보았다.

i) ZO의 퍼지니스에 따른 영향 (그림9)

ZO의 퍼지니스가 증가함에 따라 시스템 성능이 나빠짐을 알 수 있었으며 이것은 모터가 제어 목표값에 거의 도달하였을 때 작은 오차에 대해서 오차가 거의 없는 것으로 감지하여 정상 상태 오차가 발생하기 때문이다.

ii) PB, NB의 퍼지니스에 따른 영향 (그림10)

PB의 퍼지니스가 증가함에 따라 오차를 크게 인식하여 상승 시간이 빨라지고 NB의 퍼지니스가 증가함에 따라 오차를 작게 인식하여 상승시간이 느려짐을 알 수 있다.



<zero 퍼지니스를 증가한 경우의 멤버십 함수>

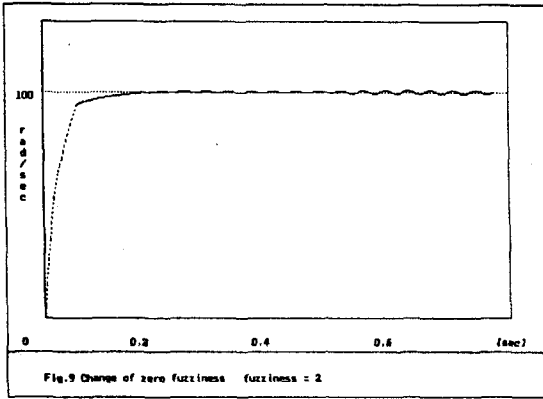
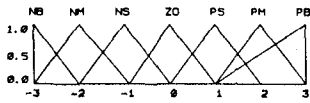
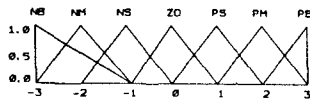


그림9. ZO의 퍼지니스에 따른 영향



<PB 퍼지니스를 증가한 경우의 멤버십 함수>



<NB 퍼지니스를 증가한 경우의 멤버십 함수>

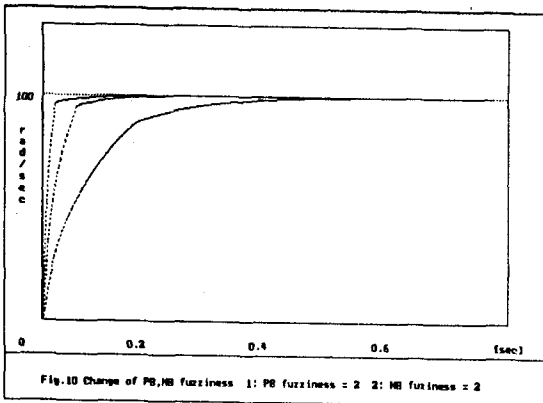


그림10. PB, NB의 퍼지니스에 따른 영향

5. 결론

본 논문에서는 비선형 특성을 갖는 직권 계자 직류 전동기의 속도제어를 위해서 퍼지논리를 기반으로 한 퍼지제어기를 설계 하였으며 시뮬레이션을 통해 scale factor의 변화에 따른 시스템 성능과 퍼지변수의 퍼지니스의 크기가 시스템에 미치는 영향에 대해서 고찰하였다. Scale factor의 변화에 따라 시스템의 성능에 큰 영향을 주었으며 퍼지변수의 분포에 따라 서로 다른 영향을 보였다. 이와 같은 결과를 종합해 볼때 원하는 시스템 성능을 얻기 위해서는 퍼지변수에 대한 멤버십 함수의 입력과 출력에 대한 분포, scale factor의 크기, 제어규칙등의 적절한 활용이 요구된다.

참고문헌

- [1] LOTFI A. ZADEH, " Outline of a New Approach to the Analysis of Cpmplex Systems and Decision Process "
- [2] Wolfgang H.Janko, Marc Roubens and H.J.Zimmermann, " PROGRESS IN FUZZY SETS AND SYSTEMS "
- [3] " Fuzzy Mathematical Techniques with Applications," Florida State University
- [4] H.J. Zimmermann, L.A. Zadeh and B.R.Gaines, " FUZZY SETS AND DECISION ANALYSIS "
- [5] C. von Altrock, B.Krause, H.J.Zimmermann-University of Aachen " Advanced Fuzzy Logic Control Technologies in Automotive Applications " pp 835-842 IEEE,1992
- [6] P.J.Chappell, R.J.Spiegel, " Fuzzy Logic Control of AC Induction Motors " pp 843-850 IEEE,1992
for Predicting Surface Roughness in Finish Turning "