

GA-Fuzzy Algorithm에 의한 세탁기 모터의 제어

Control of the Washing Machine's Motor by the GA-Fuzzy Algorithm

이재봉*, 김지현*, 박윤서*, 선희복**
J. B. Lee*, J. H. Kim*, Y. S. Park*, H. B. Sun**

ABSTRACT

A controller utilizing fuzzy logic is developed to control the speed of a motor in a washing machine by choosing an appropriate phase. Due to the hardship imposed on obtaining a result from a relation established for inputs, present speed and present rate of speed, and output, a phase, of the system that can be tested against an experimental result, it is impossible to apply a genetic algorithm to fine-tune the fuzzy logic controller. To avoid this difficulty, a proper assumption that the parameters of an if-part of a primary fuzzy logic controller have a functional relationship with an error between computed values and experimental ones is made. Setting up of a fuzzy relationship between the parameters and the errors is then achieved through experimentally obtained data. Genetic Algorithm is then applied to this secondary fuzzy logic controller to verify the fuzzy logic. In the verification process, the primary fuzzy logic controller is used in obtaining experimental results. In this way the kind of difficulty in obtaining enough experimental values used to verify the fuzzy logic with genetic algorithm is gotten around. Selection of the parameters that would produce the least error when using the secondary fuzzy logic controller is done with applying genetic algorithm to the then-part of the controller. In doing so the optimal values for the parameters of the if-part of the primary fuzzy logic controller are assumed to be contained. The experimental result presented in the paper validates the assumption.

I. 서 론

가정 생활이 윤택해지고 다양화됨에 따라 가정에서 사용하고 있는 제품의 기능도 다양해지고 또한 특별한 기능을 갖추어 가고 있다. 일반적으로 세탁기는 세탁물을 빨음으로서 그 기본 기능을 다하지만 울이나 란제리와 같은 세탁물은 일반 세탁 수류로 세탁시 옷감의 손상이 우려되므로 이에 맞는 저속 세탁 수류가 요구되어져 왔다. 따라서 일반적으로 사용하고 있는 단상 유도 전동기가 아닌 속도 가변이 용이한 BLDC Motor, SRM(Switched Reluctance Motor)등을 사용하여 세탁물에 알맞은 회전 수류를 갖도록 하여 왔다[1][2]. 그러나, 이들은 단상 유도 전동기에 비하여 구동 회로가 복잡하고, 가격 단가가 높아 시장 형성이 되지 않았다. 또한 세탁기 등에서 사용하

*삼성전자 생활시스템연구소
Living System R&D Center, SAMSUNG Electronics co.
**가전본부 세탁기사업부
Washing Machine Division, SAMSUNG Electronics co.

고 있는 단상 유도 전동기는 속도 제어를 위하여 위상 제어를 할 경우 이상 전기 소음, 전동기의 온도 상승 등이 문제되어 왔으며, 특히 이상 전기 소음은 세탁기의 세탁포가 물과 함께 유동함으로써 계속되는 부하의 변동에 따라 전동기의 Torque가 모자라는 구간에서 이상 전기음(연속된 구속음)이 발생하게 된다. 따라서 부하의 변동에 대처할 수 있는 전동기의 토크제어를 위해서는 적절한 Sampling Time의 설정이 중요하며 위상의 변화 폭이 전기 소음에 영향이 없도록 완만한 변화를 주어야 한다. 이러한 System은 일반적인 제어(PI 제어등)를 사용하여 실현할 수 있지만 희망하는 목표값에 대하여 어느 정도의 둔감성을 가져 이상전기음을 줄일 수 있다는 측면에서 Fuzzy Logic System(이하 FLS)을 도입하였다[3][4]. 이러한 통상의 Fuzzy Logic Controller(이하 FLC)는 이미 DC Motor등의 제어 분야에서 도입되고 있으나 세탁기의 단상 유도 전동기의 속도 제어에 있어서는 입출력 Fuzzy Membership 함수의 매개변수값과 사용 Rule에 대한 관계 도입이 어려운 실정이었다[5].

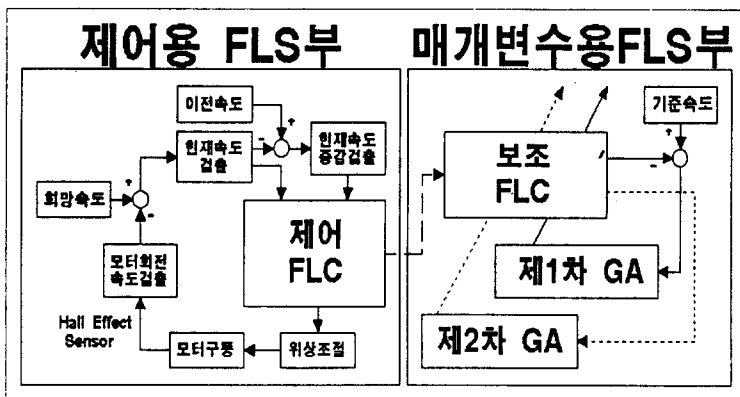
단상 유도 전동기를 FLC를 이용하여 희망 속도를 유지하도록 하기 위해서는 환경에 맞는 Rule이 형성되어야만 한다. 그러나 Rule은 출력 함수가 아주 짧은 단위 시간당의 변화로 되어 있을 경우, 통상의 실험에 의하여 Rule을 결정하는 것이 어렵다. 즉 출력 함수가 단위 시간당의 위상의 변화량으로 표현되고, 세탁기의 단상 유도 전동기와 같은 Time Delayed System에서는 단위 시간당의 출력값이 어느 정도 긴 시간 동안 축적되어야만 그 결과가 평가되므로 그 Rule의 적정성 평가가 현실적으로 불가능한 상태에 와있다. 이러한 System에서 FLC의 적용 방법은 기본 Logic을 형성한 후 수많은 Rule의 반복적인 실험을 통하여 입력 Membership 함수의 매개변수 값을 결정하여 왔다.

본 논문에서는 세탁기 단상 유도 전동기의 희망 속도를 유지하는 FLC에서와 같이 출력 함수가 아주 짧은 단위 시간당의 변화로 표현되는 System에 있어서 반복적인 실험에 의하여 Fuzzy Rule을 결정하지 않고 『Karr』[6]가 제시한 Genetic Algorithm(이하 GA)을 이용하여 입력 Membership 함수의 매개변수값이 최적화되어진 Fuzzy System을 제안하고자 한다.

이를 위하여 제어 FLC 입력 Membership 함수의 매개변수들을 보조 FLC의 입력으로 하고, 희망 속도와의 오차를 출력 Membership 함수로 하여, 각각 구간값의 평가에 의해 제1차 GA를 적용하여 System을 대변할 수 있는 개개의 Fuzzy 매개변수값을 찾아낸 후, 이러한 Rule상에서 희망 속도와 가장 오차가 적게 할 수 있도록 제2차 GA를 적용하여 최적의 매개변수를 얻어 System을 안정화하는 FLC를 구성하였다.

II. 제안 GA-Fuzzy System의 구성

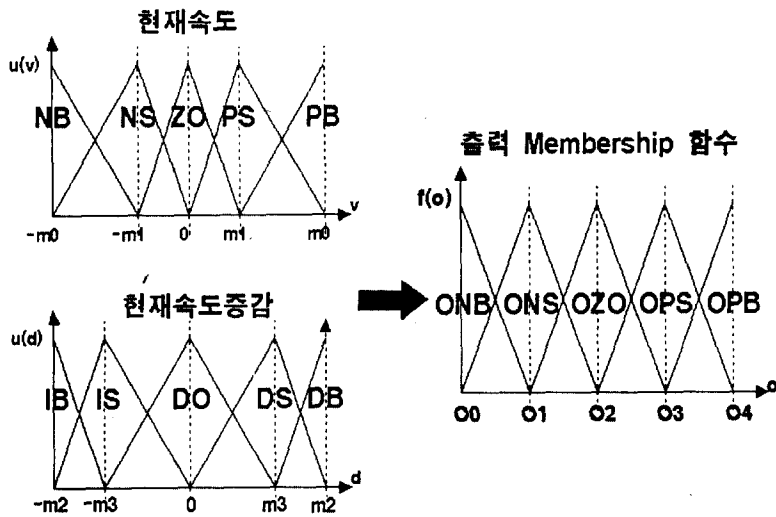
제안 GA-Fuzzy System은 실제 전동기를 제어하는 FLC의 매개변수를 입력으로 하고, 전동기의 출력속도와 원하는 회전 속도의 오차를 출력으로 갖는 Fuzzy Logic Controller가 존재한다고 가정한다. 따라서 그 구성을 그림 1처럼 실제 전동기를 제어하는 제어용 FLS부와 이 가정을 입증하기 위한 매개변수용 FLS부로 구성하여 보았다.



〈그림 1〉 제안 GA-Fuzzy System의 구성도

제어용 FLS부는 일반적으로 세탁기에서 사용되는 단상 유도 전동기의 위상 제어를 실행하기 위한 제어부이다. 제어용 FLS부에는 전동기의 회전을 감지하는 Hall Effect Sensor의 출력을 단위 시간당 Pulse수로 변환시킨 수치로 입력된 속도와 회망 속도의 차이로 표현된 현재속도(v)를 입력으로 갖고, 이전 속도와 현재속도의 차이인 현재속도 증감분(d)을 다른 하나의 입력으로 하며, 단위 시간당 공급 전류의 위상 변화량을 출력으로 갖는 제어 FLC(Primary Fuzzy Logic Controller)를 갖는다. 그림 2에 제어 FLC의 입출력 Membership 함수를 나타내었다. ZO와 DO로 표현된 Membership 함수를 중심으로 각각 NS와 PS, NB와 PB, 그리고 IS와 DS, IB와 DB가 대칭을 이루도록 하여, m0, m1, m2, m3인 4개의 매개변수를 위에서 가정한 Fuzzy Logic Controller(보조 FLC)의 입력으로 설정하였다.

$$f(v, d) = \frac{\sum_{i=1}^M \mu^i(v, d) \bar{O}_i}{\sum_{i=1}^M \mu^i(v, d)}, \quad \mu^i(v, d) = \mu^i(v) \mu^i(d) \quad (1)$$



<그림 2> 제어 Fuzzy Logic Controller의 Membership 함수

매개변수용 FLS부는 앞에서 가정한 제어용 FLS부의 매개변수와 출력오차값의 관계를 설정하는 보조 FLC (Secondary Fuzzy Logic Controller)와 이를 최적화 시키는 제1차 GA, 제2차 GA Simulation부로 구성된다. 보조 FLC는 제어용 FLS부를 대표할 수 있도록 구성된 Fuzzy Logic Controller이다. 입력은 제어 FLC의 매개변수 (m0~m3)이고, 출력은 전동기의 출력속도와 회망속도의 오차값이다. 이러한 보조 FLC로 제어용 FLS부를 대표할 수 있도록 하기 위해 매개변수(m0~m3)의 대표값을 실제 제어 FLC의 Membership 함수에 적용하여 얻은 전동기의 회전속도와 기준곡선과의 오차값으로 Fuzzy 연산에 필요한 Rule을 작성하게 된다. 이로서 보조 FLC가 설정된 후, 제1차 GA에서는 보조 FLC에서 구성된 새로운 Fuzzy Membership 함수의 매개변수(P00~P34)들을 최적화 시켜 앞서 설정된 보조 FLC를 보강한다. 제1차 GA를 통하여 비로서 보조 FLC가 제어 FLS부를 대표하게 되고 제2차 GA는 제1차 GA에서 설정된 보조 FLC를 이용하여 출력값(회망 속도와의 오차)을 최소화시키는 입력값(m0~m3)을 찾는다.

Ⅲ. 매개변수용 Fuzzy Logic System부

본 연구에서 적용하는 매개변수용 FLS부는 보조 FLC, 제1차 GA, 제2차 GA로 구성된다.

3.1 보조 Fuzzy Logic Controller의 Fuzzy부 구성

제안 GA-Fuzzy System은 Fuzzy 입력 Membership 함수의 매개변수를 입력으로 하고 희망 속도 사이의 오차 값을 출력으로 하는 새로운 Fuzzy Logic System이다. 그림 3은 보조 FLC의 입출력 Membership 함수이다. 선택된 입력 변수($m_0 \sim m_3$)들의 변화에 따라서 전동기 회전 속도의 형태는 다양한 회전 속도 변화를 보이게 된다. 따라서 보조 FLC는 이들 입력의 변화에 따라 비선형의 결과 형태를 보이는 전동기 회전 속도와 원하는 회전 속도 사이의 오차를 결과로 산출할 수 있는 Fuzzy Rule을 생성시킬 수 있다. 이들 4개의 입력 변수($m_0 \sim m_3$)에 대하여 적용된 Fuzzy Rule은 다음과 같고, Fuzzy 연산식은 (2), (3)과 같다

Rule 1 : If m_0 is A_1 and m_1 is B_1 and m_2 is C_1 and m_3 is D_1 Then e_1 is E_1

Rule 2 : If m_0 is A_2 and m_1 is B_2 and m_2 is C_2 and m_3 is D_2 Then e_2 is E_2

Rule 3 : if m_0 is A_3 and m_1 is B_3 and m_2 is C_3 and m_3 is D_3 Then e_3 is E_3

.....

Rule i : If m_0 is A_i and m_1 is B_i and m_2 is C_i and m_3 is D_i Then e_i is E_i

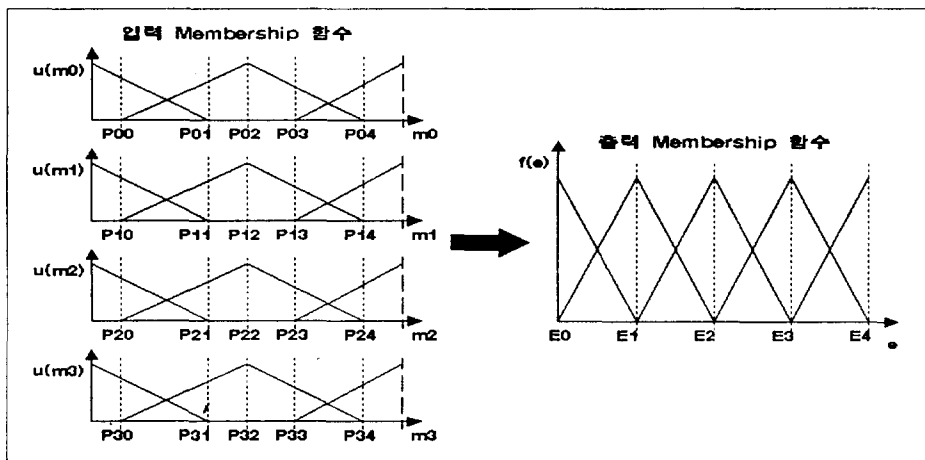
.....

Rule n : If m_0 is A_n and m_1 is B_n and m_2 is C_n and m_3 is D_n Then e_n is E_n

단, $A_i \sim D_i$ 는 각 규칙의 입력 Membership 함수값이고 E_i 는 출력 Membership 함수값임

$$f(m_0, m_1, m_2, m_3) = \frac{\sum_{i=0}^{81} \mu_{\sigma}^i(m_0, m_1, m_2, m_3) e^i}{\sum_{i=0}^{81} \mu_{\sigma}^i(m_0, m_1, m_2, m_3)} \quad (2)$$

$$\mu_{\sigma}^i(m_0, m_1, m_2, m_3) = \mu^i(m_0) \mu^i(m_1) \mu^i(m_2) \mu^i(m_3)$$



〈그림 3〉 보조 Fuzzy Logic Controller의 Membership 함수

3.2 GA 합성

본 논문에서는 매개변수의 최적화를 위하여 제1차 및 제2차 GA를 실시하였다. 이는 Time Delayed System이고 아주 짧은 단위 시간당 출력 함수의 결과-(1)가 System에 직접적인 영향을 미치지 못하는 경우에 그 출력값에 대한 Fitness를 평가하기 어렵기 때문인데, 예를 들어 출력 함수가 단위 시간당(50msec) 위상 제어의 변화량일 경우, 이 변화량이 System에 미치는 영향의 평가가 어렵고, 그 결과가 어느 정도 시간이 경과하여 나타나기 때문에 단위 시간당 변화량 자체만으로 결과 평가가 안 되어 1차적인 입/출력 함수에 GA를 적용할 수가 없다. 따라서, 입출력 함수 자체가 아닌 입출력 함수의 매개변수를 최적화하기 위하여 제1차 GA에서는 실험 결과값과 보조 FLC의 Fuzzy 연산 결과-(2) 사이의 오차값을 최소화할 수 있도록 보조 FLC 입력 Membership 함수의 매개변수 (P00~P34)를 얻음으로서 보조 FLC가 제어용 FLS부를 대변할 수 있도록 한다. 제1차 GA의 합성은 그림 3에서와 같이 보조 FLC의 입력 Membership 함수들을 3 구간으로 분할하고, 각 Membership 함수의 매개변수를 문자열로 나타내며 4개의 입력 변수는 각각 5개의 문자열로 표현하여 20개의 문자열로 나타낸다. 또한 4개의 입력 변수들에 대해 각각 3 구간을 설정하고 $81(3^4)$ 회의 실험을 실행하였다. Wang[7]이나 Shin[8]의 실험 Data에 의한 Fuzzy Rule 도출법에서 행하여지는 것 처럼 각각의 실험은 1개의 Fuzzy Rule을 만들어 내게 되며, 이 Rule로서 보조 FLC에서 Fuzzy 연산을 실행하여 연산 결과와 실험값을 비교하여 최적의 유전 인자를 얻도록 하였다.

제1차 GA 적용 환경

- 전체 인구 : 100 (160bits = 20×8 bits)

$$\cdot \text{Fitness 함수} : \text{Fitness}_i = \frac{1}{1 + \sum_{i=0}^{81} |\text{error}_i|} \quad (4)$$

$$\cdot \text{Error 값} : \text{error}_i = E_i - F_i \quad (5)$$

$$\text{단, } E_i = |\text{Reference}_i - \text{Sample}_i|, F_i = \frac{\sum_{i=0}^{81} M e_i}{\sum_{i=0}^{81} M}, M = \prod_{j=0}^3 \mu_{mj}(P_j0, P_j1, P_j2, P_j3, P_j4)$$

$$\cdot \text{재생산 방식} : \text{Roulette 방식}, \rho_i = \frac{\text{Fitness}_i}{\sum_{j=1}^{100} \text{Fitness}_j}, (\rho_i \text{는 재생산확률})$$

- 최대적합도 : 0.98, 교배율 : 0.6, 돌연 변이율 : 0.01

제2차 GA는 제1차 GA에서 최적화된 보조 FLC에서 출력값(희망 속도 사이의 오차값)을 최소화 시키는 보조 FLC의 입력값($m0 \sim m3$)을 얻는 것이다. 제2차 GA를 합성하기 위하여 4개의 문자열을 생성시켜 제1차 GA에서 최적화하는 보조 FLC에 입력하여 보조 FLC의 Fuzzy 연산 결과는 실제 제어 FLC에서 실행하였을 때의 실험 결과 오차가 적으므로 Fuzzy 연산 결과로서 작은 값이 되도록 하는 것이 제2차 GA의 목표이다. (6)의 $f_i(m0, m1, m2, m3)$ 는 (2)와 같다.

제2차 GA 적용환경

- 전체 인구 : 100 (32bits = 4×8 bits)

$$\cdot \text{Fitness 함수} : \text{Fitness}_i = \frac{1}{1 + f_i(m0, m1, m2, m3)} \quad (6)$$

$$\cdot \text{재생산 방식} : \text{Roulette 방식}, \rho_i = \frac{\text{Fitness}_i}{\sum_{j=1}^{100} \text{Fitness}_j}, (\rho_i \text{는 재생산확률})$$

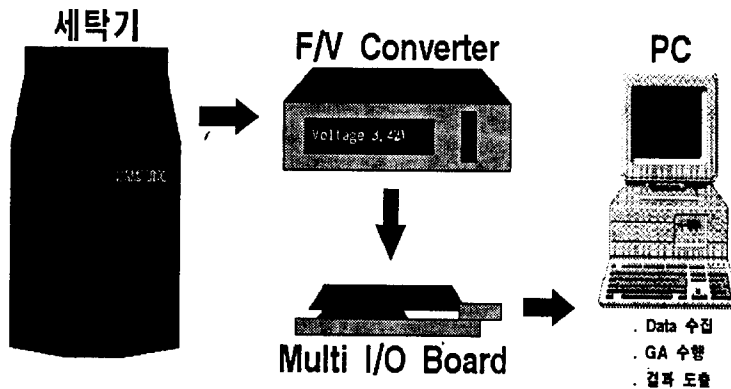
· 최대적합도 : 0.99, 교배율 : 0.6, 돌연 변이율 : 0.01

GA에 대한 기초적이며 일반적인 설명은 Goldberg[9]의 책을 참고하였다.

IV. 실험 및 고찰

4.1 실험 방법 및 데이터

그림 3은 GA 적합도 함수의 입력값을 얻기 위한 실험 구성도이다. 그림 1에서 Motor의 회전축에는 Hall Effect Sensor가 장착되어 Motor의 회전 속도를 감지하게 된다. 이 회전 속도는 그림 4와 같이 F/V Converter를 거쳐 전압으로 표현되며, 변환된 전압은 National Instrument사의 Multi-I/O Board의 A/D Converter로 수치화 되어 얻어진다.



<그림 4> 실험 구성도

입력된 Data로 제1차 GA를 실행하여 최적의 보조 FLC 입력 Membership 함수의 매개변수를 얻어낸다. 표 1은 보조 FLC 입력 변수들의 구간을 대표하는 실험값들이다. 표 1에서 m0과 m1, m2와 m3은 같은 제어 FLC 입력 Membership 함수의 매개변수들이며, 항상 $m0 > m1$, $m2 > m3$ 을 유지하여야 한다. 이때 이론적으로 실험하여야 할 횟수는 $81(3^4)$ 가지의 실험을 하여야 하지만, 표 1에서 변수 m0의 『구역 0』 값인 「12」는 변수 m1의 『구역 2』 값인 「19」보다 작은 값으로 이는 위의 조건($m0 > m1$)에 부합되지 않는다. 따라서, 이런 경우를 제외하면 56가지 실험을 할 수 있다. 표 2는 실험을 실시하여 얻은 Data이다. 오차값을 얻는 식은 3.2절의 (5)에 보였다.

표 1. 보조 FLC 입력변수의 실험 대표값

구역	Parameter	m0	m1	m2	m3
구역 0		12	2	3	1
구역 1		20	11	4	2
구역 2		25	19	10	5

단상 유도 전동기의 전기적 특성때문에 전동기에 전력을 공급하면 즉시 희망하는 속도가 유지되지 못하고 얼마 동안의 Settling Time이 요구된다. 따라서 기준 곡선은 전동기에 Full Power를 공급하여 희망 속도에 이르는 시

간(T_s : Settling Time)까지는 일정한 기울기를 갖는 직선으로 표시하고 그 이후는 회망속도를 유지하는 평행선으로 하였다. 그림 5에는 기준곡선, 결과곡선, 오차곡선을 함께 표시하였다.

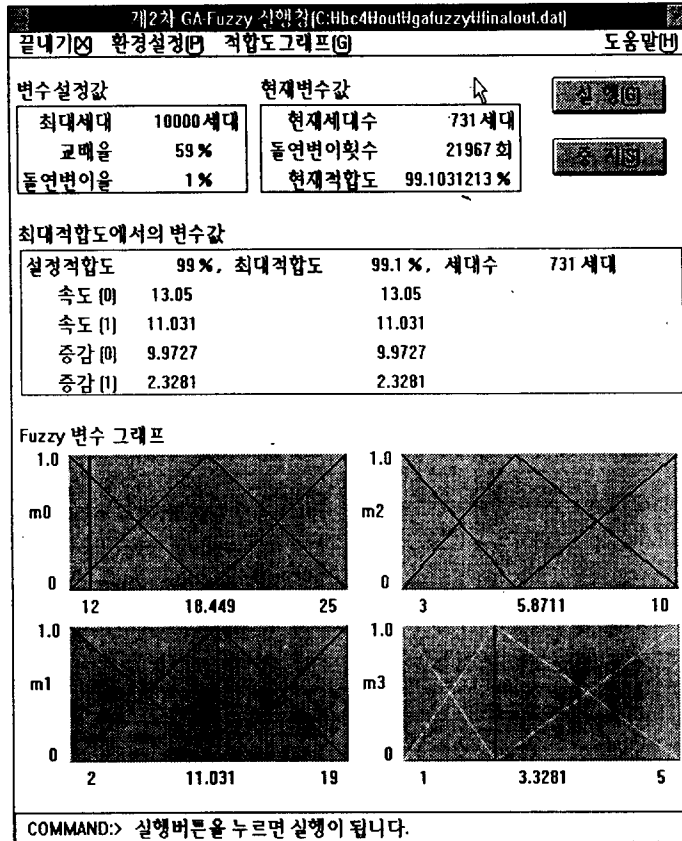
표 2 실험 Data

m0	m1	m2	m3	오차	m0	m1	m2	m3	오차	m0	m1	m2	m3	오차
25	19	10	5	132	20	19	10	5	158	12	19	10	5	-
25	19	10	2	156	20	19	10	2	171	12	19	10	2	-
25	19	10	1	350	20	19	10	1	274	12	19	10	1	-
25	19	4	5	-	20	19	4	5	-	12	19	4	5	-
25	19	4	2	150	20	19	4	2	155	12	19	4	2	-
25	19	4	1	310	20	19	4	1	370	12	19	4	1	-
25	19	3	5	-	20	19	3	5	-	12	19	3	5	-
25	19	3	2	142	20	19	3	2	112	12	19	3	2	-
25	19	3	1	329	20	19	3	1	240	12	19	3	1	-
25	11	10	5	182	20	11	10	5	174	12	11	10	5	168
25	11	10	2	104	20	11	10	2	129	12	11	10	2	107
25	11	10	1	168	20	11	10	1	182	12	11	10	1	222
25	11	4	5	-	20	11	4	5	-	12	11	4	5	-
25	11	4	2	124	20	11	4	2	130	12	11	4	2	134
25	11	4	1	178	20	11	4	1	214	12	11	4	1	160
25	11	3	5	-	20	11	3	5	-	12	11	3	5	-
25	11	3	2	116	20	11	3	2	92	12	11	3	2	127
25	11	3	1	187	20	11	3	1	193	12	11	3	1	189
25	2	10	5	455	20	2	10	5	420	12	2	10	5	397
25	2	10	2	145	20	2	10	2	164	12	2	10	2	143
25	2	10	1	183	20	2	10	1	182	12	2	10	1	160
25	2	4	5	-	20	2	4	5	-	12	2	4	5	-
25	2	4	2	219	20	2	4	2	125	12	2	4	2	133
25	2	4	1	126	20	2	4	1	175	12	2	4	1	120
25	2	3	5	-	20	2	3	5	-	12	2	3	5	-
25	2	3	2	153	20	2	3	2	151	12	2	3	2	139
25	2	3	1	149	20	2	3	1	127	12	2	3	1	115

4.2 실험 결과

제1차 및 제2차 GA의 전체 인구 구성은 100으로 하였고, 교배율은 0.6, 돌연 변이율은 0.01로 하여 얻은 최종 Simulation 결과 화면을 그림 5에 나타내었다. 제1차 GA에서 얻은 보조 FLC Membership 함수의 최적화된 매개변수값은 그림 5의 하단부에 표시한 4개의 그래프들로서 입력변수($m_0 \sim m_3$)의 매개변수($P_{00} \sim P_{34}$)들이 최적화되었음을 알 수 있다. 제2차 GA의 최종 결과는 중간 박스의 왼쪽 부분에 표시한 4개의 수치들로서 속도(0) = 13.05, 속도(1) = 11.031, 중감(0) = 9.9727, 중감(1) = 2.3281인 결과(표 3)를 얻었으며, 실제 제어 FLC에 적용한 결과는 그림 7-(a)와 같이 오차값이 『69』로 줄어드는 결과를 얻었다. 또한 세대의 진행은 731세대 만에 99.1%의 적합도를 얻었다. 그림 6은 제1차 GA와 제2차 GA의 적합도 함수가 진화하는 과정에서의 적합도 변화이다.

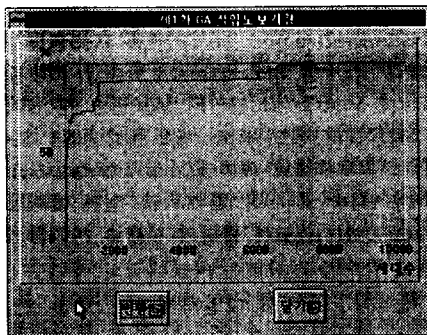
그림 7-(a)는 기준속도와 결과로 얻은 Parameter를 직접 제어용 FLS부에 대입하여 얻은 회전 속도 그리고 그 오차값을 나타내었다. 실제 회전 속도 파형이 T_s 시간 보다 약 160msec 늦은 시간에 회망 속도를 유지하였으나 빠른 시간안에 회망속도로 유지됨을 볼 수 있다. 그림 7-(b)는 실험시 오차값이 가장 작은 Data이고 그림 7-(c)는 오차값이 가장 큰 Data를 나타내었다. 이상에서 제안 GA-Fuzzy System을 도입하는 과정에서 가정된 제어 FLC



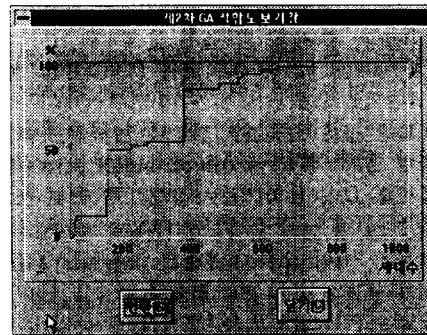
<그림 5> 제1차 및 제2차 GA 실행 결과

표 3. GA 최종 결과

Parameter	m0	m1	m2	m3
GA 최종 결과	13.05	11.031	9.9727	2.3281

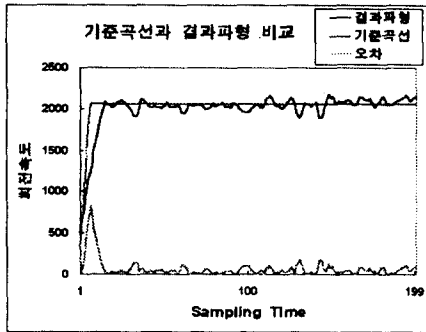


(a) 제1차 GA 적합도 곡선

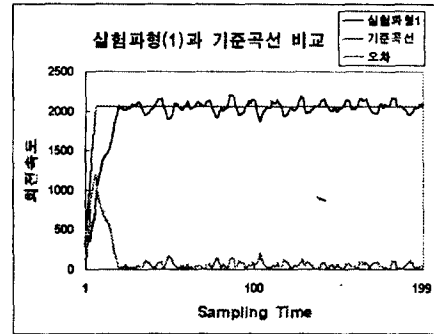


(b) 제2차 GA 적합도 곡선

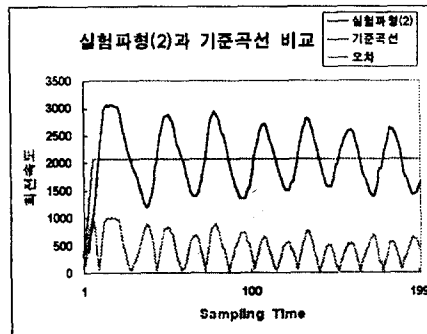
<그림 6> 제1차 및 제2차 GA 적합도 곡선



(a) 결과 파형(오차값 : 69)



(b) 가장 양호한 실험 파형(오차값 : 92)



(c) 가장 불량한 실험 파형(오차값 : 455)

<그림 7> 기준곡선에 대한 결과곡선 및 실험파형 비교

의 매개변수를 입력변수로 하고 전동기의 출력속도와 회망속도의 오차를 출력으로 갖는 Fuzzy Logic Controller 를 구성할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 세탁기의 단상 유도전동기가 울이나 란제리와 같은 세탁물에 대해 저속의 회전 수류를 제공하기 위한 Fuzzy Logic Controller에 있어서, 제1차 및 제2차의 Genetic Algorithm을 이용하여 입력력 Membership 함수의 매개변수를 최적화하기 위한 GA-Fuzzy System을 제안하였다. 본 연구에서 제안된 GA-Fuzzy System은 특히 아주 짧은 단위 시간당의 변화량이 출력함수로 되어 있는 System에 유용 하였으며, 과거의 반복적인 실험에 의존하던 것을 정형화된 Genetic Algorithm을 이용하여 실현하므로써 제어용 Fuzzy Logic Controller를 정형화된 방법에 의해 전개할 수 있었다. 제안된 GA-Fuzzy System은 보조 FLC상의 시뮬레이션과 그 결과값의 실험을 통하여 실용성을 입증하였다.

본 연구에서 제안된 GA-Fuzzy System은 세탁기의 단상유도 전동기의 속도제어에 적용하므로써, 울·란제리의 세탁 코스와 탈수 속도 제어의 다단 탈수에 적용했으며 이를 소비자의 욕구에 대응하도록 하였다. 그러나, 본 연구에서 제안된 System은 이상전기음을 감소시키는 회망속도에 대한 오차를 기준으로 전개하므로써 소비자의 궁극적 요구인 세탁력 향상, 세탁물 손상의 감소등 모든 요소를 만족할 수는 없었다. 따라서 향후에는 이러한 이상전기음이 감소되면서 어느 정도의 회전 수류가 세탁물에 최적인 조건을 제공할 수 있는가에 대한 실 System에

대한 연구를 계속할 것이다. 또한 본 연구에서 추가로 사용된 보조 FLC 및 제1·2차 GA의 사용이 좀 더 많은 환경을 대변할 수 있도록 하고 사용 매개변수가 늘어남에 따른 String의 구성 방법등에 대한 연구를 계속적으로 진행할 예정이다.

VI. Acknowledgments

The authors would like to thank Dr. H. Shin for helpful comments and suggestions during the course of this work.

참 고 문 헌

1. T. J. E Miller, "Brushless Permanent-magnet and Reluctance Motor Drive", CLERENDON Press, Oxford, pp. 149-191, 1989.
2. G. S. Buja, R. Memis and M. I. Valla, "Variable structure control of an SRM Drive", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 40, No. 1, pp. 56-63, Feb., 1993
3. Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of fuzzy algorithm for servo systems", IEEE Control System Magazine, pp. 65-75, April, 1989.
4. 정준영, 김지현 외, "자율이동 로봇의 주행에 관한 연구", 한국 퍼지시스템 학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 256-261, 1994.
5. C. M. Liau and J. B. Wang, "Design and implementation of a fuzzy controller for a high performance induction motor drive", IEEE Trans. Syst., Man and Cybern., Vol. 21, No. 4, pp. 921-929, 1991.
6. C. L. Karr, "Design of an Adaptive Fuzzy Logic Controller Using a Genetic Algorithm", Proceedings of the fifth International Conference on Genetic Algorithms. International Society for Genetic Algorithms, pp. 450-457, 1991.
7. L. Wang, "Adaptive Fuzzy Systems and Control", Prentice-Hall International Inc., 1994.
8. H. Shin "Study of Optimal Washing Flow Pattern Using a Genetic Algorithm", SAMSUNG Electronics Technical Report, 1995.
9. David E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1989.