

# 소속함수 수정 알고리즘에 의한 퍼지 제어의 성능 향상

최 완 규<sup>†</sup> · 정 문 재<sup>††</sup>

## 요 약

본 연구에서는 전문가와 운전자의 제어 지식을 더 정확하게 표현하여 퍼지 논리 제어기의 성능을 향상시킬 수 있는 소속함수 수정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 제어지식을 더 정확히 표현할 수 있도록 직관적인 지식과 경험으로부터 유추된 대략적인 제어지식을 평가 기준으로 하고 입력 데이터 클러스터링에 의해 소속함수의 형태와 위치를 수정한다. 제안된 방법을 수위 조절 모델과 교통신호 제어 모델에 적용한 실험을 통해서, 제안된 알고리즘이 기존 제어기의 성능을 향상시킬 수 있고, 퍼지 제어기에서 언어적 변수에 대한 구간 설정의 어려움을 해결할 수 있음을 알 수 있었다.

## Performance Improvement of the FLC by Membership Function Modification Algorithm

Wan-Kyoo Choi<sup>†</sup> · Moon-Jai Jeong<sup>††</sup>

## ABSTRACT

We, in this paper, propose the membership function modification algorithm, which can improve the performance of the fuzzy logic controller (FLC) by representing the control knowledge of the experts and the operators more exactly. Our algorithm modifies the size and shape of the fuzzy membership function based on the input-output data clustering so that the FLC can represent the control knowledge more exactly. It uses the rough control knowledge retrieved from the intuitive knowledge and experience as the evaluation criteria for clustering the input-output data. We apply our algorithm to the model for controlling the water level and for controlling the traffic signal, and show that it can improve the performance of the existing FLCs and can solve the difficulty of the range partition for the linguistic variables to a certain extent.

키워드 : 소속함수수정알고리즘(Membership function modification algorithm), 퍼지논리 제어기(Fuzzy logical controller)

## 1. 서 론

퍼지 논리 제어기(FLC)는 제어 입력으로부터 퍼지 추론을 통해서 제어 입력 전체 집합에서 정의된 퍼지 집합으로 출력되는데[1], 전문가나 운전자 등이 경험에 의해 얻은 지식을 제어규칙으로 사용할 수 있고, 불명확한 정보를 처리할 수 있다는 특징을 갖고 있어서 Mamdani의 적용 이후로 복잡한 비선형 시스템이나 수학적 모델을 가지고 있지 않은 시스템들의 제어에 적용되어 오고 있다[2].

퍼지 논리 제어기(FLC)는 퍼지화 도입부, 지식베이스, 의사결정 논리부, 비퍼지화부로 구성된다[1, 3]. 일반적으로 FLC 설계에서 핵심이고 가장 어려운 측면은 퍼지 제어 규칙, 즉 지식베이스의 설계이다[2].

입출력 퍼지변수가 결정되고, 그 변수의 개수에 따라 설계할 수 있는 제어규칙의 최대 개수가 결정되면 입출력 공간이 정의된다. 이 중에서 시스템의 특성을 고려해서 입출력 변수의 영역(range)을 나누어 그에 따라 제어규칙을 결정하게 되는데, 이를 입출력 공간의 분할이라 한다.

퍼지 입·출력 공간의 영역 분할 방식에는 전문가의 경험 및 제어 지식을 도입하는 방법, 인간 조작자의 기능을 추출하는 방법, 제어되는 프로세스의 퍼지 모델을 이용하는 방법, 제어기에 학습 능력을 추가하는 방법 등이 있다[1, 3].

위의 방식들은 주로 전문가의 지식으로부터 유추된 직관적 지식과 경험 또는 표준 규칙 베이스를 이용하여[4] 영역 분할을 한 후, 실험적으로 계속 규칙을 향상시키는 시행착오적인 과정을 거치게 된다[1, 3].

그러나 위와 같은 방식으로 구성된 규칙베이스는 전문가나 운전자의 제어지식을 구체적이고 정확하게 표현하는 것이 아니라 대략적으로 표현하고 있다는 문제가 있으며, 이

† 준 회원 : 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부 교수  
 †† 종신회원 : 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부 교수  
 논문접수 : 2000년 9월 22일, 심사완료 : 2001년 4월 18일

렇게 생성된 분할 영역들이 제어를 위한 기본 가정을 만족하는가에 관한 논의는 없으며, 실험을 통한 성능 향상 방식은 비용이 많이 들고 시간도 많이 소모되며, 영역 분할에 관한 기본 지식들이 없는 상황에서는 적합한 분할영역을 찾기가 어렵다.

이런 경우 제어 과정으로부터의 입력과 출력 데이터를 클러스터링하여 보다 더 정확한 퍼지 제어시스템을 설계할 수 있다[5].

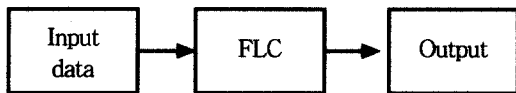
따라서 본 연구에서는 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 제어에 관한 기본가정들, 대략적인 규칙들과 대략적인 영역 분할이 주어질 때, 난수 발생기에 의해 발생된 입력값들에 대한 출력값을 구한 후, 정의된 평가 함수를 통해서 기본 가정을 만족하는 데이터들로만 구성된 데이터집합을 생성한 후, 입출력 데이터의 클러스터링에 기초하여 제어규칙의 전건부와 후건부 소속함수의 위치와 형태를 조정하는 과정을 통해 더 적합한 분할 영역을 추정하여 퍼지 제어의 성능을 향상시키고자 한다.

본 연구에서는 제안된 방법을 테스트하기 위해서 기존의 FLC에 적용하여 기존 제어기의 성능을 향상시킬 수 있음을 보여준다.

제2장에서는 퍼지 제어에 대해서 간략히 기술하고, 제3장에서는 본 연구에서 제안한 입출력 데이터 클러스터링에 근거한 소속함수 수정 알고리즘을 제시하고, 제4장에서는 물탱크의 수위 제어 모델과 교차로에서 교통신호 제어 모델에 적용한 실험을 통해서 제안된 알고리즘의 유용성을 보여준다. 제5장에서는 결론 및 향후 연구과제를 제시한다.

## 2. 퍼지 제어 시스템

일반적인 퍼지 제어기의 구조는 (그림 1)과 같다[8].



(그림 1) 일반적인 퍼지 논리 제어기

퍼지 논리 제어기(FLC)는 제어 입력으로부터 퍼지 추론을 통해서 제어 입력 전체 집합에서 정의된 퍼지 집합으로 출력된다.

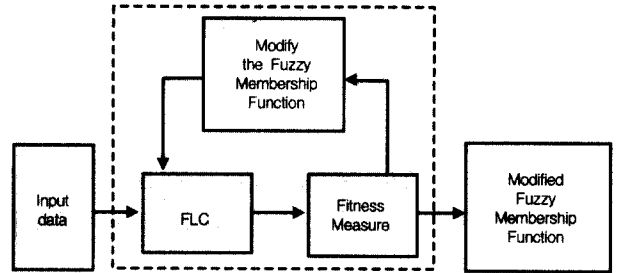
퍼지 제어기의 성능은 여러 가지 요인으로 결정되어지며, 퍼지 제어 성능에 가장 영향을 미치는 것 중 하나인 소속함수의 형태와 구간의 수정을 통해 성능을 향상시킬 수 있다[6].

일반적인 삼각형 소속함수는 계산이 단순하고 위치와 폭으로 파라미터화 할 수 있다는 장점이 있지만, 각각의 언어라벨에 똑같은 크기와 형태의 소속함수를 사용하므로 일정한 성능밖에 기대할 수 없다[6]. 따라서 본 연구에서는 삼각형 소속 함수로 구성된 퍼지 제어기의 소속함수의 형태와 구간의 수정을 통해서 제어기의 성능을 향상시킨다.

## 3. 소속함수 수정 알고리즘

본 연구에서는 (그림 2)와 같은 퍼지 소속 함수 수정기(Fuzzy Membership Function Modifier)를 통해 FLC의 성능을 향상시킨다.

(그림 2)에서, 입출력 데이터가 직관적 지식과 경험에 근거한 제어지식을 만족하는 정도를 평가하는 적합도 척도(Fitness measure)는 식 (1)과 같이 정의한다.



(그림 2) 퍼지 소속함수 수정기

$$fitness = \frac{|X_{incons}|}{|X_{all}|} \quad (1)$$

$X_{all}$  : <입력, 출력>쌍의 데이터 집합

$X_{incons}$  : 제어지식을 만족하지 않는 데이터 집합

(그림 3)은 소속함수 수정 알고리즘을 보여준다. (그림 3)에서 “get\_input\_data(count)”는 난수발생기에 의해 주어진 count 만큼의 입력데이터 집합을 발생시키고, get\_output\_data(FLC, inoutdata)는 입력값들을 FLC의 입력으로 사용하여 출력값을 산출한다.

```
function ModifyMembership(FLC, eval_rules,  $\alpha$ )
/*eval_rules : 주어진 평가 규칙들의 집합. 즉 제어지식들
 $\alpha$  : 명시된 임계치
FLC : 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 제어지식에 근거하여 구성된 제어기*/
{
inoutdata = get_input_data(count);
while(TRUE)
{
get_output_data(FLC, inoutdata);
if(eval(inoutdata, eval_rules) <=  $\alpha$ )
break;
else
{
inoutdata = delete_inconsistent(inoutdata, eval_rules);
centers = clustering(inoutdata);
FLC = make_new_FLC(FLC, centers);
}
}
return FLC;
}
```

(그림 3) 소속함수 수정 알고리즘

"eval(inoutdata, eval\_rules)"은 식 (1)의 적합도 척도를 이용하여 주어진 입출력 데이터 집합의 적합도를 산출한다. "delete\_inconsistent(inoutdata, eval\_rules)"는 평가규칙을 만족하지 않는 입출력 데이터들을 삭제한다.

"clustering(inoutdata)"은 K-Means 알고리즘을 이용한다. K-means 알고리즘은 MacQueen에 의해 제안된 알고리즘으로, 패턴을 k개의 클러스터로 나눈 후 클러스터에 포함되어 있는 패턴들의 평균으로 클러스터의 중심값을 계산하고 이 중심값과 각 패턴과의 거리를 계산한 후 거리가 가장 가까운 클러스터에 패턴을 포함시키는 방법으로 그 조건은 다음과 같다[10].

$$x_i \in c_j, \|x_i - z_j\|^2 < \|x_i - z_k\|^2 \quad (2)$$

여기서,  $1 \leq i \leq N, 1 \leq k \leq c, j \neq k$   
 $N$  : 패턴수  
 $c$  : 클러스터의 수  
 $z$  : 클러스터의 중심값

그리고 이 계산은 각 클러스터의 중심 값이 더 이상 변하지 않을 때까지 반복한다. 본 연구에서는 클러스터의 개수 k를 각 입출력 변수를 위한 언어적 분할의 개수로 하였다. "clustering(inoutdata)"는 각 클러스터의 중심값들을 반환한다.

"make\_new FLC(FLC, centers)"는 위에서 산출한 중심값들에 근거하여 기존 퍼지 제어기의 소속함수의 형태와 구간을 수정한다.

(그림 3)의 알고리즘에서는 fitness가 주어진 임계치  $\alpha$ 를 만족하지 않으면(즉, fitness >  $\alpha$ ), 퍼지 소속함수들이 수정되는 과정을 반복한다.

예를 들어서, 2입력 1출력 퍼지 제어기에서 난수발생기에 의해 20개의 입력 데이터 집합을 발생시키고, 출력값을 구하여 생성된 입출력 데이터 집합이 <표 1>과 같

<표 1> 입출력 데이터 집합의 예

데이터	입력 1	입력 2	출력
1	36	4	4
2	52	12	6
3	45	1	0
4	23	10	17
5	7	16	23
6	2	8	17
7	4	9	16
8	27	8	4
9	62	6	0
10	6	7	17
11	13	17	24
12	55	8	0
13	55	19	12
14	7	8	16
15	18	9	10
16	63	18	4
17	17	11	18
18	19	10	17
19	49	20	11
20	58	10	4

이 주어졌다고 하자

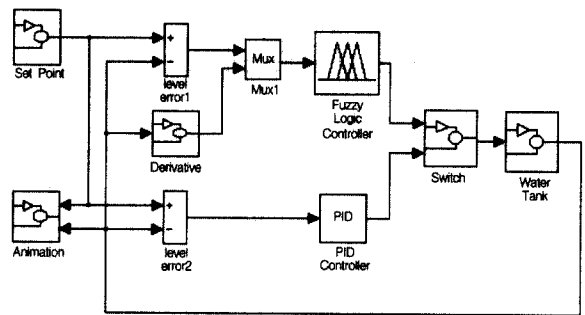
이때 임의의 데이터  $d_1, d_2$ 가 있을 때, 제어지식이 "평가규칙 1 : if ( $d_1$ 의 입력1 >  $d_2$ 의 입력1) and ( $d_1$ 의 입력2 <  $d_2$ 의 입력2), then ( $d_1$ 의 출력 <  $d_2$ 의 출력)" 와 "평가규칙 2 : if ( $d_2$ 의 입력2 >  $d_1$ 의 입력2) and ( $d_2$ 의 입력1 <  $d_1$ 의 입력1), then ( $d_2$ 의 출력 >  $d_1$ 의 출력)"라고 하면, <표 1>에서 데이터 7(4, 9, 16)과 10(6, 7, 17)은 평가규칙 1을 만족하지 않으며, 데이터 13(55, 19, 12)과 19(49, 20, 11)는 평가규칙 2를 만족하지 않으므로 삭제된다. 따라서 <표 1>의 입출력 데이터 집합의 적합도는  $4/20 = 0.2$ 가 된다.

#### 4. 실험 및 결과

본 연구에서는 클러스터링에 기초한 소속함수 수정 알고리즘을 물탱크 수위 제어 모델과 교차로에서 교통신호 제어 모델에 적용하여 비교 평가하였다.

##### 4.1 물탱크 수위 제어

(그림 4)는 물탱크 수위 제어시스템을 보여준다.



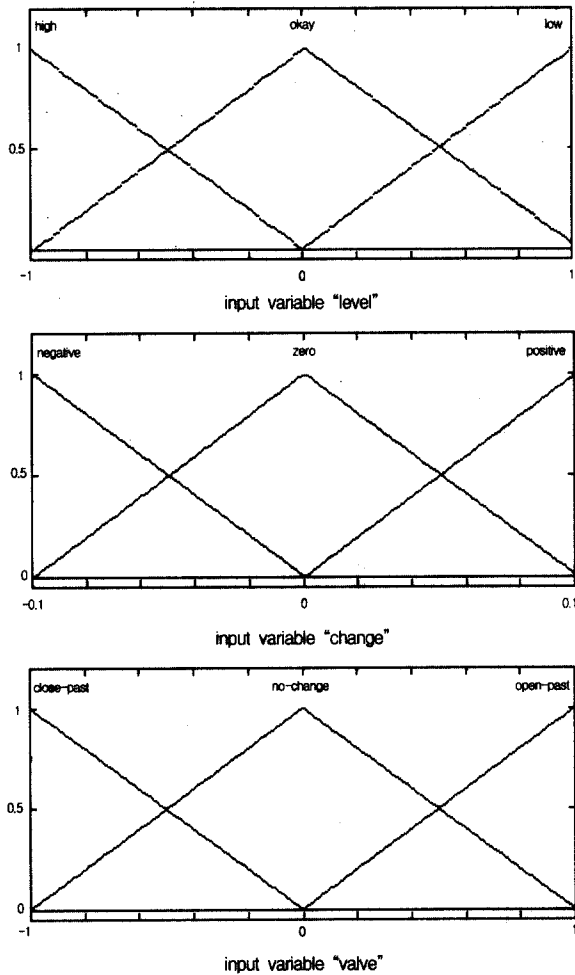
(그림 4) 물탱크 수위제어 시스템의 구성도[7]

수위 제어를 위한 퍼지 논리제어기의 입력은 오차(level)과 오차 변화량(change)이고 출력은 수위조절밸브가 열리고 닫히는 비율(valve)이다. 수위 제어를 위해 소속함수의 크기와 형태를 균등 분할한 퍼지논리 제어기를 위한 소속함수들은 (그림 5)와 같다.

(그림 5)의 FLC를 위한 제어규칙은 다음과 같다. 즉,

1. If(level is okay)  
then (valve is no\_change)
2. If(level is low)  
then (valve is open\_fast)
3. If(level is high)  
then (valve is close\_fast)
4. If(level is good) and (change is negative)  
then (valve is close\_slow)
5. If(level is good) and (change is positive)  
then (valve is open\_slow)

위의 제어 규칙들로부터 유추된 입출력 데이터의 적합도 평가를 위한 제어지식은 다음과 같다. 즉, 임의 규칙 r1과 r2가 주어진다고 하자. "r1과 r2의 level이 같고, r1의 change 값이 r2의 change 값보다 크면, r1의 valve 값이 r2의 valve 값보다 작다"



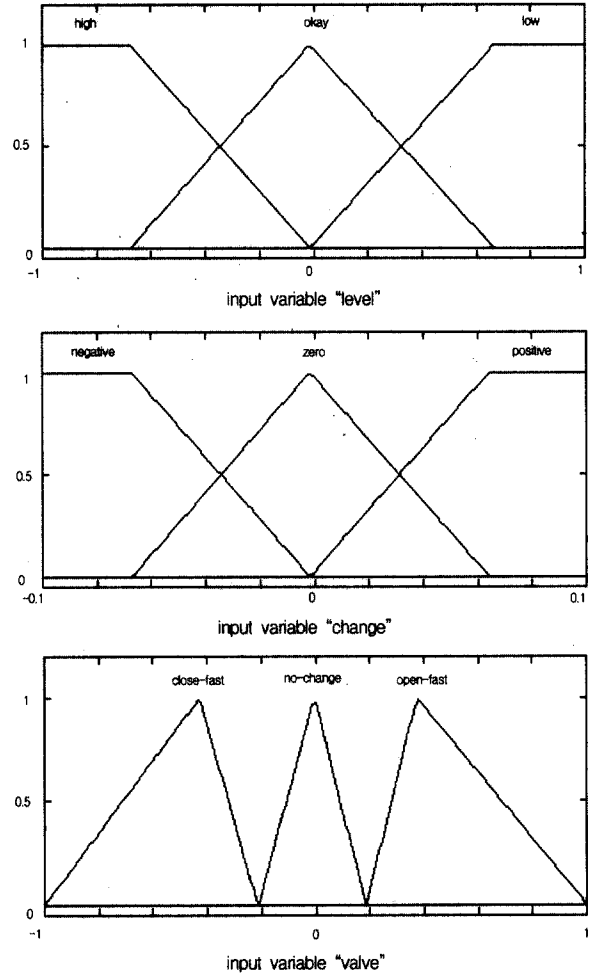
(그림 5) 수위 제어를 위한 퍼지논리 제어기

(그림 5)의 수위 제어기에서  $\alpha = 0.01$ 로 하여 소속함수 수정 알고리즘을 적용하여 수정된 수위 제어기를 위한 FLC의 소속함수들은 (그림 6)과 같다.

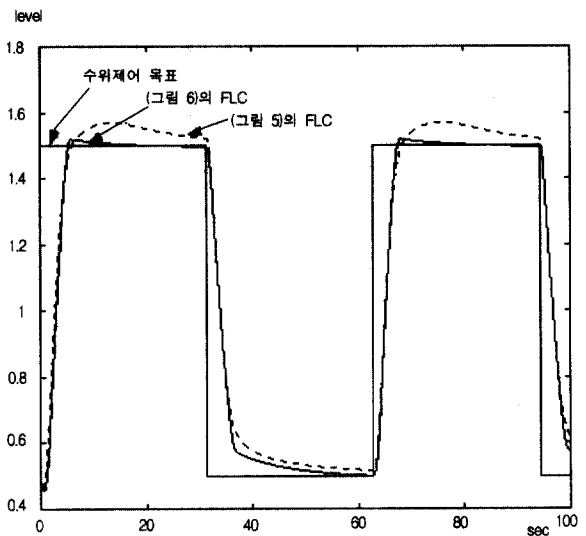
(그림 7)은 샘플링 시간을 0.2초로 하여 (그림 5)와 (그림 6)의 FLC에 의한 수위제어의 결과를 보여준다.

(그림 7)에서 알 수 있듯이 소속함수 수정 알고리즘을 이용하여 수정된 FLC는 기존 FLC보다 향상된 성능을 보여주었다.

즉, 탱크 수위의 상승시, (그림 5)의 FLC에 의한 출력은 큰 절대 오차를 가진 overshoot를 나타내는 반면에 (그림 6)의 FLC에 의한 출력은 안정화가 이루어지며, (그림 6)의 FLC에 의한 출력은 (그림 5)의 FLC에 의한 출력에 비해 overshoot가 감소되고, rise time도 감소하였다.



(그림 6) 수위 제어를 위한 수정된 퍼지논리 제어기



(그림 7) (그림 5)와 (그림 6)의 FLC에 의한 수위 제어

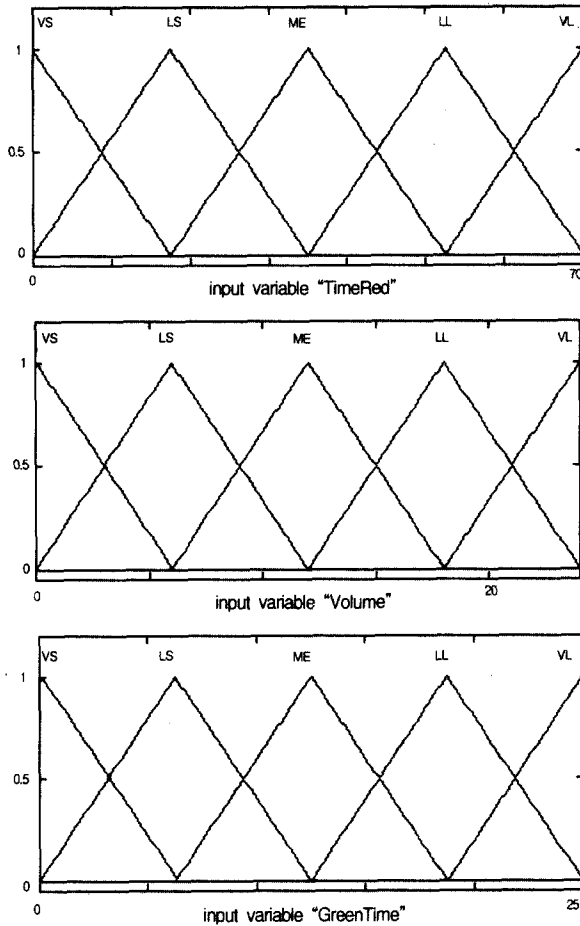
4.2 교통신호 제어

(그림 8)은 교차로에서 교통신호 제어를 위한 FLC[9]의 소속함수들을 보여준다. (그림 8)의 입력 변수는 '도로상에 정체'

된 차량의 수(Volume)와 '적색 신호 대기시간(TimeRed)'이고, 출력 변수는 '각 도로에서의 녹색 신호시간(GreenTime)'이다.

(그림 8)에서 TimeRed와 GreenTime을 위한 언어적 변수들은 VS(Very Short), LS(Little Short), ME(MEDium), LL(Little Short), VL(Very Long)이고, Volume를 위한 언어적 변수들은 VS(Very Small), LS(Little Small), ME(MEDium), LL(Little Large), VL(Very Large)이다.

(그림 8)의 FLC에서 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 제어규칙들은 <표 2>와 같다.



(그림 8) 교통신호 제어를 위한 FLC

<표 2> 그림 8의 FLC를 위한 제어규칙

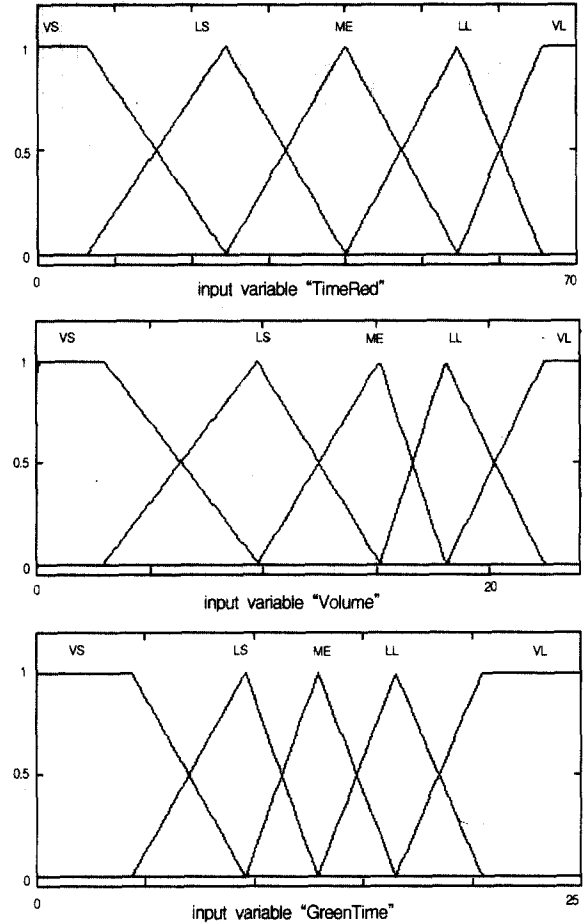
TimeRed \ Volume	VS	LS	ME	LL	VL
VS	ME	LL	VL	VL	VL
LS	LS	ME	LL	VL	VL
ME	VS	LS	ME	LL	VL
LL	VS	VS	LS	ME	LL
VL	VS	VS	VS	LS	ME

<표 2>에서 유추된 제어지식은 다음과 같다. 즉,

1. 적색 신호가 같고 대기 차량수가 많으면, 녹색 신호 시간이 길다.

2. 적색 신호가 길고 대기 차량수가 적으면, 녹색 신호 시간이 짧다.
3. 대기 차량수가 같고 적색 신호가 길면, 녹색 신호 시간이 짧다.
4. 대기 차량수가 많고 적색 신호가 짧으면, 녹색 신호 시간이 길다.

(그림 8)의 FLC에서  $\alpha = 0.01$ 로 하여 소속함수 수정 알고리즘을 적용하여 수정된 교통신호 제어를 위한 FLC의 소속함수들은 (그림 9)와 같다.

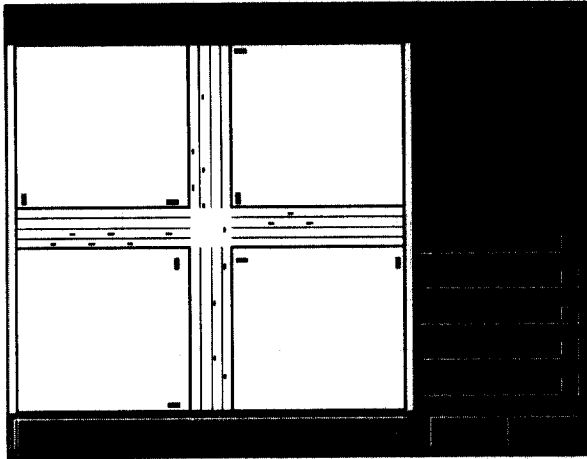


(그림 9) 교통신호 제어를 위해 수정된 FLC

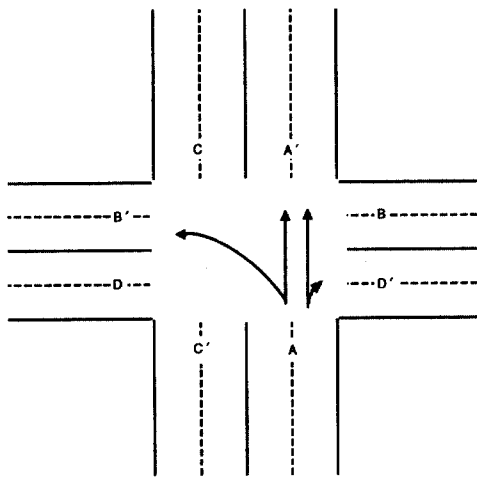
본 연구에서는 교차로에서 교통흐름을 실험할 수 있는 (그림 10)과 같은 시뮬레이터를 Matlab을 이용하여 개발하였다.

본 실험은 (그림 11)과 같은 도로상황을 가정하였고, 차량은 350±50대, 700±50대, 1050±50대, 1300±50대, 1800±50대 등 5단계로 발생시켰다.

차량의 속도는 10km/h, 20km/h, 30km/h, 40km/h, 50km/h 등으로 하였고, 녹색신호는 4거리에서 직좌 동시신호를 순환하고(A→B→C→D→…), 신호 주기는 직좌 동시신호 18초, 황색신호시간 2초를 주어 4×(18초+2초)=80초를 기본 주기로 사용하였다. 차량의 길이는 4m로, 도로의 길이는 50m로 가정하였고, 횡단보도는 고려하지 않았다.



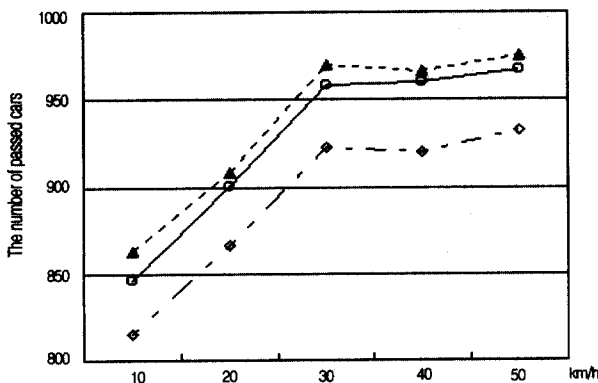
(그림 10) 시뮬레이터



(그림 11) 도로의 상황도

본 실험에서는 차량 발생 상황, 차량 속도와 제어기의 조합에 대해서 15분씩 20회, 총 1500회에 걸쳐 실험하였다.

(그림 12)는 차량속도에 따른 평균 차량 통과 대수를 보여준다. (그림 12)에서 ---◇---는 고정식 신호 제어기(즉, C1)를, —○—는 (그림 8)의 FLC(즉, C2)를, --▲--는 (그림 9)의 FLC(즉 C3)를 나타낸다.



(그림 12) 차량 속도에 따른 통과 차량 대수

<표 3>은 C1에 대한 C2와 C3의 개선도와 C2에 대한 C3의 개선도를 나타낸다.

<표 3> 차량 속도에 따른 통과차량의 개선도(%)

속도(km/h)	C1에 대한 C2의 개선도	C1에 대한 C3의 개선도	C2에 대한 C3의 개선도
10	3.80	5.87	1.99
20	3.80	4.79	0.95
30	3.80	5.06	1.21
40	4.37	5.02	0.62
50	3.63	4.52	0.86
평균	3.88	5.04	1.11

<표 3>에서, 고정식 신호 제어기(C1)에 비하여 차량 통과 대수 면에서 (그림 8)의 FLC(C2)는 평균 3.8%정도 개선되지만 (그림 9)의 FLC(C3)는 5%정도 개선되었고, (그림 9)의 FLC(C3)는 (그림 8)의 FLC(C2)에 비해 대략 1%정도 개선되는 효과를 보였다.

#### 4.3 실험결과

위의 실험을 통해서 제안된 소속함수 수정 알고리즘을 이용하여 기존 퍼지 논리 제어기의 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

따라서, 퍼지 제어기를 설계할 때, 먼저 언어적 변수에 대한 구간을 균등 분할하고, 제안된 알고리즘을 이용하여 소속함수의 형태와 구간을 수정하여, 인간의 제어 지식을 더 정확히 반영하는 퍼지 제어기를 설계할 수 있다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 제어 대상에 대한 직관적 지식과 경험에서 유추된 평가기준을 만족하는 입출력 데이터의 클러스터링에 근거하여 제어규칙의 전건부와 후건부 소속함수의 위치와 형태를 수정하는 과정을 통해, 더 정확하게 제어지식을 표현하여 퍼지 논리 제어기의 성능을 향상시킬 수 있는 소속함수 수정 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 적합도 함수를 이용하여 주어진 임계치를 만족하도록 소속함수의 형태와 구간을 수정한다.

제안된 알고리즘을 물탱크의 수위 제어를 위한 FLC와 교차로에서 교통 신호 제어를 위한 FLC에 적용한 실험을 통해서 제안된 알고리즘이 기존 제어기를 상당히 개선할 수 있음을 알 수 있었고, 퍼지 제어기에서 언어적 변수에 대한 구간 설정의 어려움을 해결할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

[1] 이광형, 오길록, '퍼지 이론 및 응용 II 권 : 응용', 홍릉과학출판사, pp.5-1~5-91, 1991.

[2] 김용태 외, "학습/적응능력을 갖는 퍼지 제어 시스템들에 관한 고찰", 한국퍼지및지는시스템학회 논문지, Vol.5, No.3, pp.11-35, 1995.

[3] 퍼지기술연구회 편저, '퍼지시스템 입문', 기전연구사, pp.165-175, 1992.

[4] Ercument Karakas, Hasan Kulunk, "Adaptive control of Bolu highway tunnel ventilation system using fuzzy logic," Proceedings of the 1998. ACM symposium on Applied Computing, pp.282-286, 1998.

[5] 김문수, 공성근, "입출력 부공간에서의 클러스터링에 의한 퍼지 제어 시스템 설계", 전자공학회 논문지-S, Vol.34-S, No.12, pp.30-40, 1997.

[6] 박희경, 공성근, "비균일 멤버십 함수를 이용한 분산 퍼지 제어 성능 향상", 한국퍼지 및 지능시스템학회 '97 추계학술발표대회 논문집, Vol.7, No.2, pp.37-40, 1997.

[7] MathWorks ed, Fuzzy Logic tollbox Use's Guide, The MathWorks, Inc., pp.2-78~2-83, 1999.

[8] 김종완, 한병준, "퍼지논리를 사용한 교통망 제어기의 개발", 정보처리학회 논문지, Vol.5, No.11, pp.2908-2914, 1998.

[9] 이영신, 이윤배, "퍼지 제어를 적용한 교차로에서의 최적 교통 신호시스템", 정보처리학회논문지, Vol.4, No.1, pp.167-176, 1997.

[10] 조형기, 민준형, 최종욱, "클러스터링을 이용한 차종인식 모형", 한국정보처리학회 논문지, Vol.3, No.2, pp.369-380, 1996.



### 최완규

e-mail : wkchoi@kwangju.ac.kr

1988년 서울대학교 종교학과(학사)

1992년~1993년 (주)공성통신 전산실

1993년~1995년 한양시스템 전산실

1997년 조선대학교 전자계산학과(이학석사)

2000년 조선대학교 전자계산학과(이학박사)

2000년~현재 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부 전임강사  
관심분야 : 소프트웨어 공학, 프로그래밍 언어, 객체지향 시스템, 퍼지 및 러프집합



### 정문재

e-mail : moonjai@hosim.kwangju.ac.kr

1997년 홍익대학교 전자계산학과(학사)

1980년 성균관대학교 정보처리학과(석사)

1994년 전주대학교 대학원 MIS전공(박사)

1977년~1981년 중앙경리단 시스템분석관

1982년~1984년 대전실업대학교 전자계산

학과 조교수

1994년~1996년 한국정보처리학회 논문편집위원

1994년~현재 한국정보처리학회 이사

1996년~현재 한국정보전략학회 이사

2000년~현재 한국정보과학회 논문지 심사위원

1985년~현재 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부 교수

관심분야 : 전략정보시스템, EC/CALS, 지식경영관리, 소프트웨어 공학 (소프트웨어 프로젝트 관리 및 품질 분야)