論文93-30B-6-12

# 퍼지 동정 알고리듬을 이용한 교차로 교통 신호등 제어의 최적 주기 결정

# (Decision of Optimum Cycle of Traffic Junction Vehicle Signal Control using Fuzzy Identification Algorithm)

陳 炫 秀,* 金 載 弼,**金 鍾 元,* 洪 玩 憙,* 金 成 煥*

(Hyun Soo Jin, Jai Pil Kim, Jong Weon Kim,
Woan Hue Hong and Sung Hwan Kim)

要 約

본 논문에서는 모호한 상황에서 적절하게 대처하는 인간의 판단능력에 착안 하여 이와 유사한 퍼지논리 교통신호등 제어기를 구현하여 미리 정해진 시간 (조건시간 1 - 5) 동안의 평균차량수의 변화에 대응하는 주기들을 결정한후 이들 주기들의 분포에서 퍼지 동정 알고리듬을 이용하여 임의의 교차로 특성 에 가장 적합한 최적주기를 결정 하였다. 본 연구에서 기존의 전자감응식 교통 신호제어기 보다 성능이 우수한 퍼지논리 제어기를 제어출력 과정중에 구현하였으며 고정주기 제어기가 채택하고 있는 주기결정 통계식인 웹스터방식이 갖고있는 한계점인 교차로 차량수의 범위에 제한을 받지않는 주기결정식을 퍼지동정 알고리즘을 통해 제안 하였다. 모의시험 결과 각각 기존의 전자 감응식제어기나 고정주기 제어기보다 단위 차량당 지체시간면에서 우수함을 보여주었다.

**Abstract**

In this paper, noticing the point of human's ability which appropriately cope with vague conditions, we design fuzzy traffic signal light controller similar to human's distinction ability and decide the optimum cycle most suited to any traffic junction using fuzzy identification algorithm. In this study, for the control output decision process we design fuzzy controller better than electronic vehicle actuated controller in performance. We propose the cycle decision method which is not limited by the variance of traffic junction vehicle number through overcoming the limit of Webster's method which is adopted by the fixed cycle controller.Simulated experimental results show that fuzzy controller and fuzzy identification algorithm are better than the existing electronic vehicle actuated controller and fixed cycle controller in delay time per vehicle.

## Ⅰ. 서론

교통신호란 상충하는 방향의 교통류들에게 적절한 시간 간격으로 통행 우선권을 할당하는 통제 설비이다. 이는 질서 있게 교통류를 이동시키며 교차로의 용량을 증대시킬뿐 아니라 차량이나 보행자를 안전하게 횡단시키고 인접 교차로를 연동시 켜 일정한 속도로 긴 구간을 연속시킨다는 장점을 갖고 있으나 부적절한 곳에 설 치되었을 경우에 부적절한 시간간격으로 불필요한 지체가 생기게 된다. 한정된 도로율을

* 正會員, **準會員, 서울 市立大學校 電子工學科
(Dept.of Elec. Eng., Seoul City Univ.)
接受日字: 1992年 11月 25日

갖고 교통수요의 계속적인 증가와 교통량의 수시변동에 대처하려면 기존의 제설비를 이용하여 해결할 수 있는 방안을 연구하는 것이 필요하다 할 수 있다. 이러한 설비가운데 차량의 원활한 소통과 보행자 대기시간의 단축등의 교통 문제에 있어서 교통신호등 제어 시스템이 차지하는 중요성은 매우 크다. [1]

통과차량수, 대기차량수, 보행자수, 연장시간, 기상등의 교차로를 구성하는 여러 가지 요소들을 모두 종합하여 신호등의 연장시간을 결정하는 과정은 인간적 사고 접근방식과 유사하다. 가장 이상적인 신호등 주기결정방식은 인간의 사고로 여러 가지 제문제를 종합판단하여 주기를 결정하는 것이라 할수 있는데 이는 교차로라 는 시스템에서 퍼지논리로 모델링하는 근거를 마련한다. [2] 기존의 교통 신호등의 운영방식은 단위시간동안에 차량수들의 변화에 대처하도록 차량 인식 입력장치와 함께 운용되는 전자감응식 제어기와 이와는 반대로 이웃교 차로와의 연동에 중점을 두고 운용되는 고정주기 방식이 있으나 각각 차량수들의 변화에 민감하지 못하고 통계학적 근거로 작성한 웹스터 방식은 일정한도 이상의 차량수에서는 주기 결정에 한계점을 갖고 있다.

1965년 Zadeh 교수는 수학적으로 모델링하기에 애매한 현상들을 모델화하기 위하 여 퍼지이론을 제안하였다. 이 이론은 근사적접근 방식으로 특징지워질 수 있는 인간적 사고의 접근 방식과 유사한 과정을 모델링하고 분석하는데 매우 유용한 개념적 토대를 제공한다.Mamdani는 이러한 퍼지 논리를 이용하여 단순히 일방도로에 있는 단일 교차로를 제어하였다. [3]

본 논문에서는 남-북 방향의 직진 차선과 동-서 방향의 직진 차선으로 구성되는 단일교차로를 매순간 통과 차량수와 대기차량의 변화에 즉각 대처할수 있는 인간의 사고 판단 능력에 착안 교차로의 특성을 가장 잘 아는 전문가에 의해 Knowledge 규칙 베이스를 구축한후 퍼지 제어 알고리듬을 통해 각 현시의 최적주 기를 구했다. 이주기가 기존의 웹스터방식의 교통신호등 주기보다 지체시간면에서 감소함을 보여주고 성능이 좋은 퍼지규칙베이스 제어기로 구하여진 비선형적인 데이타군들로 부터 기존의 고정주기 결정식인 웹스터방식보다 교차로의 특성을 더욱 잘 표현하는 주기 결정식을 퍼지 동정 알고리즘을 통해 구한후 웹스터식과 성능을 비교하였다.

## Ⅱ. 교통 신호 모델

1. 교차로 시스템의 구성

임의의 2차선 교차로는 그림 1.과 같이 2개 의 현시로 구성되어 지는데 차량신호 는 '동-서' 및 '남-북' 도로별 직진 차선으 로 구성되고 랜덤한 것으로 가정하였다.

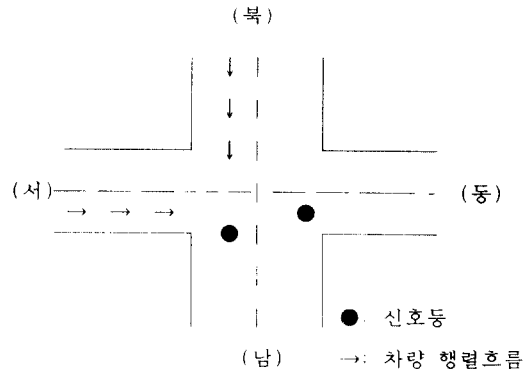



그림 1. 시스템( 2차선의 교차로) 도식도
Fig. 1. Digram of system(junction of two lanes).

차량은 최대 1초마다 1대씩 지나간다고 가정 단위초마다 랜덤신호를 발생하여 신호가 감지되면 차량이 지나간것으로 간주하였다.

현시1은 '동-서' 도로상의 직진 차량행렬이고 현시2는 '남-북' 도로상의 직진 차 량행렬을 나타낸다

각 단위시간 마다 2차선 왕복도로에 대하여 각 차선별 랜덤신호가 식 (1)과 같 이 발생한다.

$$qn=\begin{cases} qn1: \text{동 - 서 도로상의 직진 차량행렬} \\ qn2: \text{남 - 북 도로상의 직진 차량행렬} \end{cases} \quad (1)$$

2. 현시별 주기 결정 방식

고정 신호등 주기결정 방식으로 쓰이는 각 현시별 유효 녹색등(effective green light time)의 주기시간은 웹스터 방식과 그린쉬일드(Greenields)방식에 의해 각각 구하여 진다. 식 (2), (3)은 각각의 주기를 구하는 식인데 이식에 의해 주기를 구하다 보면 일정한 한계차량수를 지나면 주기값을 구할 수 없는 단점을 갖고 있는데 그 예는 표 1과 같다. 이와같은 단점을 퍼지제어기에서는 극복할 수가 있다.

$$C_w = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (2)$$

$$C_g = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + 4(2.6)}{1 - \dfrac{1.6(N_1 + N_2) + 1.7(N_3 + N_4)}{3600\ \text{PHF}}} \quad (3)$$

여기서 $C_w$ = 웹스터 방식의 주기
$C_g$ = 그린쉘드방식의 주기
Co = 최적 주기시간(Optimum cycle time)
$Y_i = qi / s$
$Y = \Sigma Y_i$
L = 전체 손실 시간( 5초)
$N_1, N_2$ = 각 차선별 차량수
$Y_1, Y_2$ = 각 차선별 황색시간
PHF(peak hour factor) = 첨두시간계수

표 1. 차량수별 최적 주기 비교
Table 1. Comparison of optimun cycle of vehicle numbers.

( scaling factor : 180(대))

| 동-서 방향직진 qn1 | 남-북 방향직진 qn2 | Co | |
|---|---|---|---|
| | | 웹스터방식 | 그린쉘방식 |
| 2 | 2 | 37.4 | 45 |
| 3 | 3 | 63.6 | 65 |
| 5 | 4 | 74.8 | 85 |
| 6 | 6 | 101 | 104 |
| 8 | 7 | 112 | 114 |
| 9 | 8 | 124 | 127 |
| 11 | 7 | 187 | 190 |
| 12 | 8 | x | x |
| 14 | 9 | x | x |

x: 해당사항 없음

3. 교차로 시스템의 모델식 결정

단일 차선 교차로의 퍼지 모델식을 결정하기 위하여 각 차선별 팬덤신호인 qn1, qn2를 통하여 식(4), (5), (6), (7), (8), (9) 와 같은 모델식의 결정 과정을 거친 다. 단일 교차로의 한 주기동안은 차량의 정지 신호인 적색등 시간과 통과 신호인 녹색등 신호로 구성되어지는데 한 주기에서 녹색등 시간에 차량이 완전 소통되지 않고 $Q_G$ 라는 차량수가남게 되면 적색등 시간에 적재 차량 $Q_N$ 은 식 (4)와 같이 된다.

$$Q_N = Q_G + \sum_{n1=1}^{n} q_{n1} \tag{4}$$

적색등 시간의 차량에 대한 차량의 지연시간은 식 (5)와 같이 된다.

$$D_{N-R} = \sum_{n2=1}^{n} \left( Q_G + \sum_{n1=1}^{n2} q_{n1} \right) \tag{5}$$

도로가 포화상태의 흐름비를 S라고 한다면 포화상태 일때면 S 가 1이 된다. 따라서 녹색등이 켜지고 나서부터 아직 소통되지 않은 차량수는 식 (6)와 같다.

$$S_N = Z(Q_R + \sum_{n1=1}^{n2} q_{n1} - sn) \tag{6}$$

$Q_R$은 적색등 시간에 정체된 차량수이고, Z는 녹색등 시간에 정체된 차량이 있으면 1이고 그외에는 0이 된다. 따라서 녹색등 시간에 차량의 지연시간은 다음과 같다.

$$D_{N-G} = \sum_{n1=1}^{n} Z(Q_R + \sum_{n1=1}^{n2} q_{n1} - sn) \tag{7}$$

그러므로, 한주기동안 교차로의 한쪽도로에서 전체 차량시간은 식 (8)과 같고 차량당 평균지연시간은 식 (9)와 같이 된다.

$$D = D_{n-R} + D_{n-G} \tag{8}$$

$$d_m = \frac{D}{\sum_{n=1}^{R+G} q_n} \tag{9}$$

여기서 $D_{n-R}$과 $D_{n-G}$는 적색등과 녹색등때의 지연시간이다. 모델의 신뢰성에대한 평가는 최적화된 사이클 제어기에 의해서 나오는 지연시간과 비교한결과로부터 얻을수 있다. [5]

## Ⅲ. 퍼지 논리 제어기

1. 퍼지 논리 알고리듬

각 현시마다 주기를 결정하기 위하여 입력 변수로 사용되는 함수들은 시간(입 력.T), 통과 차량수(입력 A), 대기 차량수(입력.Q), 연장시간(출력.E)인데 이러한 변수들을 이용 임의의 교차로의 시간대별 차량수들의 데이터를 기본으로하여 규칙 베이스 조건룰을 설정한다 전체 퍼지논리 제어기 알고리듬은 그림3과 같다.

통과차량과 대기차량들의 시간에 따른 변화는 제어기 알고리듬에 반영되어 퍼지규 칙룰로서 설정하였다.

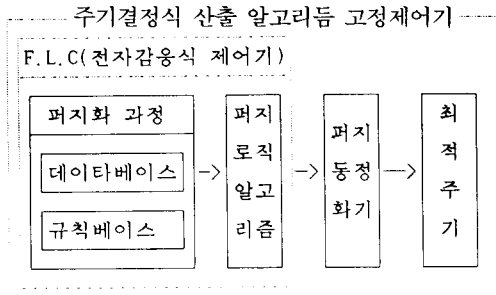



그림 2. 퍼지제어기 알고리듬
Fig. 2. Algorithm of fuzzy controller.

제어 알고리듬을 모델화 하기 위하여 사용되는 기본 퍼지 논리의 정의는 다음과 같다. 전체집합 U={X}의 퍼지 집합이 다음과 같이 표현된다. [6] [7] [8]

$$\mu_F(X) : U \rightarrow [0,1] \tag{10}$$

여기서 $\mu_F(x)$는 [0, 1] 사이의 값인데 F에 대한 X의 정도값을 나타내고 있다.퍼지 집합이 A, B, V라하면 이 논문에 사용되어지는 기본식은 다음과 같다.

$$\mu_{A\cup B}(X) : max\{\mu_A(X), \mu_B(X)\} \tag{11}$$
$$\mu_{A\cap B}(X) : min\{\mu_A(X), \mu_B(X)\} \tag{12}$$

U로 부터 V로의 퍼지 관계 집합 R이 주어지고 V에 대한 퍼지 집합 A와 U에 대한 퍼지 집합 B가 주어지면 다음식이 성립된다.

$$B = A \circ R \tag{13}$$
$$\mu_B(y) : \max\{\min\{\mu R(x,y), \mu A(x)\}\} \tag{14}$$

이런 기본식들은 식 (15)과 같은 조건룰들을 정량적으로 나타낼 뿐만아니라 결정 과정에 쓰이게 된다 [9] 식 (15)은 전체퍼지제어 명령들중 '조건시간2'의 일부를 나타내고 있다.

```
IF T = V_LONG ELSE T = V_SHORT
 and A = MT_MANY and A = MT_NONE
 and Q = LT_V_SMALL and Q = ANY   (15)
then E = V_LONG then E = V_SHORT
.....
.....
```

여기서 'T'는 신호등 지연 시간으로 1개의 조건시간에서 녹색등이 켜진 직후부터 10초까지 5개의 퍼지 멤버쉽값으로 나뉘었고, 'A'는 녹색등 시간에 통과차량으로 10초단위마다 초기화하여 최대 10까지 누적차량수를 나타내는데 멤버쉽 함수값에 서는 해당 차량수값의 이상(more than : 멤버쉽값 표현으로 mt로나타내었음)은 모두 1로 나타내어 5가지로 구분하였고, 'Q'는 적색등 시간에 지연 차량으로 통과차량수의 멤버쉽값과는 달리 1개의 조건시간에서는 10초마다 초기화 하지 않고 누적 차량수값으로 멤버쉽값으로 나타내었는데 해당차량수값의 이하(less than : 멤버 쉽값 표현으로 lt로 나타내었음)는 모두 1로 나타내어 5가지로 구분하였고, 'E'는 신호등 연장 시간 즉, 녹색등이 켜진이후로 연장시간이 얼마인가를 멤버십값으로 나타내고 이들의 멤버십값들은 'T'와 같다. 각각의 멤버쉽 함수는 그림 3.와 같다.

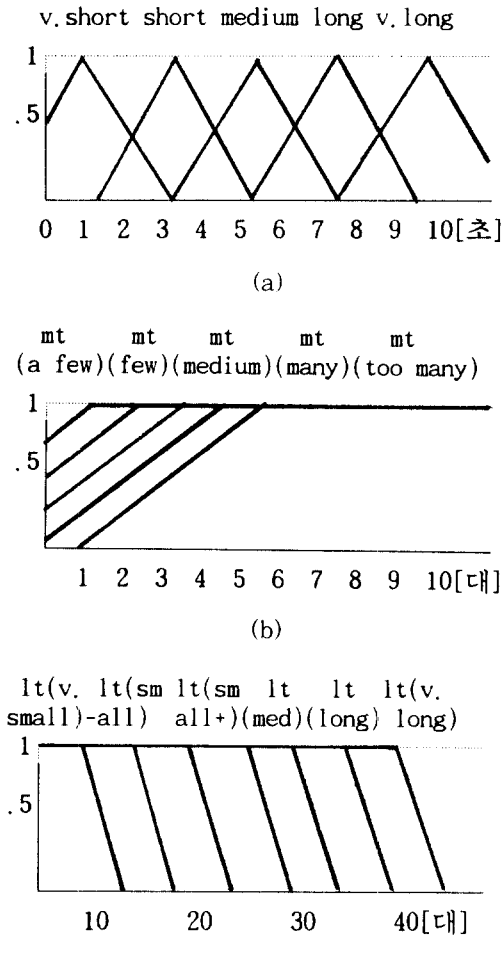



그림 3. 멤버쉽 함수
Fig. 3. Membership function.

각 현시마다 5개의 조건 시간이 사용되어 전부 25개의 규칙이 사용되는데 각 규칙은 T, A, Q 와 출력 E와의 퍼지 관계로 나타내어진다. 접속사 'AND', 'ELSE'는 각각 "min", "max"로 대치되어 그중에 T = 'very short', A = 'mt(none)' Q = 'any'이라면 P는 T * A * Q * E의 전체 집합으로 나타내어지고 식 (16)와 같은 소속 함 수를 갖는다.

$$\mu_p(t,a,q) : \min\{\mu_{v.short}(t), \mu_{mt(none)}(a), \mu_{any}(q)\} \tag{16}$$

25개의 제어 규칙이 각현시마다의 최대값을 구하기 위하여 주어지는데 각각 10 초, 20초, 30초, 40초, 50초 마다의 조건시간마다 연장시간이 결정되며 최대 연장 시간은 60초가 된다. 5개 규칙의 최소값중에서 최대값을 구해 연장시간을 결정하였다.

2. 퍼지 동정 알고리듬

주기결정 퍼지제어 알고리듬을 통해 각 현시별 최적 주기가 결정되면 그 값들은 각 현시에 대해 비선형성으로 나타내게 되므로 퍼지 동정 알고리듬에 의해 하나의 식으로 표현하였다. [4]

다음과 같은 형식의 플랜트 규칙으로 구성된 퍼지 모델이 있다면

$$R^1: \text{if } x_1 \text{ is } A_{11} \cdots \text{and } x_k \text{ is } A_{1k}, \text{ then } y = a_{10} + a_{11}x_{11} + \cdots + a_{1k}x_k$$
$$\cdots\cdots$$
$$R^i: \text{if } x_1 \text{ is } A_{i1} \cdots \text{and } x_k \text{ is } A_{ik}, \text{ then } y = a_{i0} + a_{i1}x_1 + \cdots + a_{ik}x_k \quad (17)$$
$$\cdots\cdots$$
$$R^n: \text{if } x_1 \text{ is } A_{n1} \cdots \text{and } x_k \text{ is } A_{nk}, \text{ then } y = a_{n0} + a_{n1}x_1 + \cdots + a_{nk}x_k$$

여기서 $R^i$ : i번째 규칙

$x_j$ : 입력변수(j= 1,2,...,k),

$A_{ij}$:퍼지 집합의 멤버쉽함수로 전반부 파라메타 (i=1,...,n;j=1,...,k)

$a_{ij}$:후반부의파라메타 (i=1,⋯.,n;j=0,⋯,k)

입력 $\overset{\circ}{x}_1, \overset{\circ}{x}_2 \cdots\cdots \overset{\circ}{x}_k$ 에 대한 전반부의 적합도 $W_1, W_2, \ldots, W_n$ 은 다음과 같다

$$W_1 = A_{11}(\overset{\circ}{x}_1) \times A_{12}(\overset{\circ}{x}_1) \cdots \times \cdots A_{1k}(\overset{\circ}{x}_k) \quad (18)$$
$$\cdots\cdots$$
$$W_n = A_{11}(\overset{\circ}{x}_n) \times A_{12}(\overset{\circ}{x}_n) \cdots \times \cdots A_{nk}(\overset{\circ}{x}_k)$$

추론 결과는 후반부에 $\overset{\circ}{x}_1, \overset{\circ}{x}_2, \overset{\circ}{x}_k$ 를 대입하면

$$y_1 = f_1(\overset{\circ}{x}_1, \overset{\circ}{x}_2 \cdots, \overset{\circ}{x}_k) = a_{10} + a_{11}\overset{\circ}{x}_1 + \cdots + a_1 k \overset{\circ}{x} \quad (19)$$
$$\cdots\cdots$$
$$y_n = f_1(\overset{\circ}{x}_1, \overset{\circ}{x}_2 \cdots, \overset{\circ}{x}_k) = a_{10} + a_{11}\overset{\circ}{x}_1 + \cdots + a_n k \overset{\circ}{x}$$

추론 결과는 다음식과 같다

$$y_i^{\circ} = \frac{w_1 f_1(\overset{\circ}{x}_1, \overset{\circ}{x}_2 \cdots, \overset{\circ}{x}_3) \cdots + \cdots w_n f_n^{\circ}(\overset{\circ}{x}_1, \overset{\circ}{x}_2 \cdots, \overset{\circ}{x}_k)}{w_1 + w_2 + \cdots w_n} \quad (20)$$

퍼지 모델의 동정 알고리듬은 후반부 구조 동정 알고리듬에 의해 구하면 우선 후 반부 변수동정 알고리듬에 의해 후반부에 모든변수가 필요하다고 가정한 후에 변수를 1개씩 감소시키면서 가장 적은 평가 지표를 제공하는 최적의 구조를 선택한 후 Operator에 의해 조작된 신호제어기에 있어서의 지연시간과의 PI를최소화하는 최적 후반부 파라메터를 동정한다. [10]

$$PI = \sum_{i=1}^{m} \frac{(y_i^{\circ} - y_i)}{m} \quad (21)$$

여기서 $y_i^{\circ}$ $y^i$ : 실제 입출력 데이터

$y_i^{\circ}$ : 퍼지 추론된 값

이다. $y_i^{\circ}$ 는 식 (22)에 의해 계산된다

$$y_i^{\circ} = \sum_{i=1}^{n} W^i y^i \;/\; \sum_{i=1}^{n} W^i \quad (22)$$

여기서 $W^i = \prod_{j=1}^{k} A_j^i(\overset{\circ}{X})$

n = 규칙수

k = 파라메터수

m = 데이타수

이다. 입출력 데이타로 $X_{1i}$, $X_{2i}$, $X_{ki}$, $y_k$ ( i= 1,2, ⋯.,m ; m 은 데이타수)의 집합이 주어졌을때 후반부 파라메터 $a_{io}$, $a_{i1}$ ,⋯, $a_{ik}$는 다음과 같은 과정을 통 하여 구하였다

y를 입력($x_1, \cdots, x_k$)에 대한 출력이라 한다면

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{n} (A_1^i(x_1) \wedge \cdots \wedge A_n^i(x_n))\,(a_0^i + a_1^i x_1 + \cdots + a_k^i x_k)}{\sum_{i=1}^{n} (A_1^i(x_1) \wedge \cdots \wedge A_n^i(x_n))} \quad (23)$$

여기서 $\beta_i$를

$$\beta_i = \frac{(A_1^i(x_1) \wedge \cdots \wedge A_n^i(x_n))}{\sum_{i=1}^{n} (A_1^i(x_1) \wedge \cdots \wedge A_n^i(x_n))} \quad (24)$$

라 한다면

$$y = \sum_{i}^{n} (a_0^i + a_0^i x_1 \beta_i + \cdots + a_k^i x_1 \beta_i) \quad (25)$$

를 (m x n(k+1))형의 행렬, y를 m벡터, $\alpha$ 를 n(k+1)벡터로 놓는다면

$$X = \begin{bmatrix} \beta_{11}, \cdots \beta_{n1}, x_{11}\beta_{11}, \cdots x_{k1}\beta_{11}, \cdots x_{k1}\beta_{n1} \\ \cdots\cdots \\ \beta_{1m}, \cdots \beta_{nm}, x_{1m}\beta_{1m}, \cdots x_{1m}\beta_{nm}, \cdots x_{km}\beta_{1m}, \cdots x_{km}\beta_{nm} \end{bmatrix} \quad (26)$$

여기서

$$\beta_{ij} = \frac{(A_{li}(x_{1j}) \wedge \cdots \wedge A_{ik}(x_{kj}))}{\sum_{j} (A_{i1}(x_{ij}) \wedge \cdots \wedge A_{ik}(x_{kj}))} \quad (27)$$

$$y = [y_1, \cdots, y_m]^T \quad (28)$$

$$a=\left[a_0^1,\cdots,a_0^n,a_1^1,\cdots,a_1^n,a_k^1,\cdots,a_k^n\right]^T \quad (29)$$

따라서 a는 식(30)과 같이 최종적으로 얻을수 있다

$$a=(X^TX)^{-1}X^T\,y \quad (30)$$

여기서 $X^T$ X가 Singular 일경우는 제외한다.

3.제어 출력 결정 과정

각 조건 시간의 알고리듬에 대응하는 원소들을 결정한후 제어 출력의 결정과정 은 다음과 같다. 각 조건시간 10초 동안의 통과 차량들과 대기 차량들에 관한 데 이터가 알고리듬의 입력으로 사용하였다.

제어기의 2번째 조건시간을 살펴보면 식(31)에서 qn1 는 '남-북' 도로상의 직진차 선을 나타내고 있고 qn2는 '동-서' 도로상의 직진차선을 나타내고 있는데 2대가 대 기하고 있음을 알수있다.

'남-북' 도로 직진 차선이 녹색등 기간이면 '동-서' 도로에는적색등 기간으로 전 부 2대의 차량이 대기하고 있다. 10초 동안 통과 차량 ('남-북 도로)과 좌회전 대기하는 차량 (동-서 도로)에 대한 데이터는 각각 다음과 같이 구성하였다.

$$\begin{aligned} qn1 &= (0,1,0,1,1,1,1,0,0,1)\\ qn2 &= (0,1,1,0,1,0,1,0,0,0)\\ qn1' &= (0,1,1,2,3,4,5,5,5,6)\\ qn2' &= (2,3,4,4,5,5,6,6,6,6) \end{aligned} \quad (31)$$

다음 6초 동안 시스템의 현재상태에 변화가 없다면 남-북 도로상에는 4대의 차량이 통과하고 있고 '동-서' 도로상에는 총 3대가 조건시간2에서 대기하게 된다. t=15초일 때는 통과하는 차량이 3대 있고 정체차량은 5대 남게 되므로 퍼지 grade 값이 0.1이된다. 조건시간2에서의 10초 동안의 멤버쉽함수 적용과정을 표.2.에 나타내었다.

표　2. 제어 동작을 위한 결정표

Table 2. Decision table of control operating.

| 퍼지 제어 표현 | | | 시간 (초) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 시간 | 통과차량 | 대기차량 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| v.short | mt(none) | any | 0 | .5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| short | mt(a few) | lt(v.small) | 0 | 0 | 0 | .3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| midium | mt(few) | lt(v.small) | 0 | 0 | 0 | 0 | .1 | .1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| long | mt(midium) | lt(v.small) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .1 | .1 | 0 | 0 | 0 |
| v.long | mt(many) | lt(small) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .5 | .5 | 0 | 0 |
| 퍼 지 알 고 리 즘 | | | 0 | .5 | 0 | .3 | .1 | .1 | .1 | .5 | .5 | .8 |

퍼지 grade 값이 최대가 되는 시간이 10초가 안되거나 퍼지 grade 값이 0.5가 넘지 않는 경우는 신호등을 바꿔주었다. 같은 값이 두 시간대에서 나올 경우에는 큰 시간대 값을 취하였다. 이러한 알고리듬을 그림 4.에 나타냈다. 여기서 ' 조건 시간 1 '… 을통해 시간의 흐름에 따른 퍼지규칙률의 변화를 단위시간(10초)마다 표현하였다.

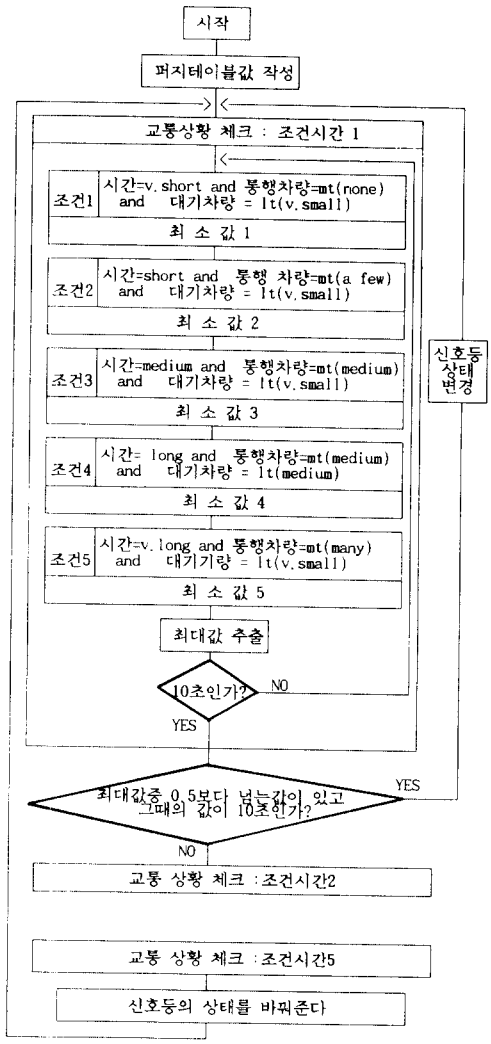



그림 4. 퍼지 트래픽 알고리듬

Fig. 4. Fuzzy traffic algorithm.

4. 퍼지 동정 알고리듬에 의한 주기 결정

(고정주기 방식의 주기 결정과정)

기존의 전자 감응식 제어기에 해당되는 제어출력 결정 과정을 거쳐 현시별 주기가 결정되면 출력 주기

분포데이터를 사용한 퍼지모델의 동정은 후반부 동정으로 구성하였다. 본문에서는 후반부 동정중 전체교차로 특성식을 산출하개 위하여 후반부 파라메타 동정을 실행하였다.

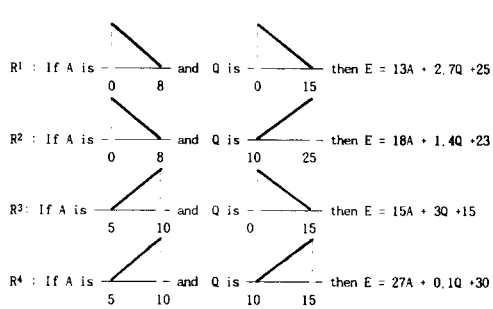
후반부 파라미터 동정은 전반부 변수와 파라미터가 결정된 상태에서 PI(Performance Index)를 최소화하는 최적 후반부 파라미터를 동정한다. 각 현시마다의 녹색등 연장시간이 결정 되어진 주기 데이터군의 일부값을 표.3에 나타내었다.

표 3. 현시별 차량수와 주기

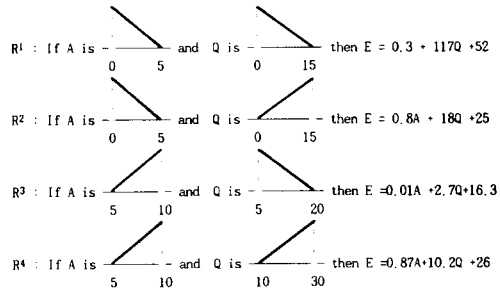
Table 3. Vehicle number and cycle of each phase.

| 현 시 | A(x1) | Q(x2) | E(y) |
|---|---|---|---|
| 현시1 | 15 | 25 | 40 |
| 현시2 | 15 | 20 | 40 |
| 현시3 | 16 | 25 | 40 |
| 현시4 | 18 | 35 | 20 |
| 현시1 | 20 | 34 | 30 |
| 현시2 | 25 | 32 | 30 |
| 현시3 | 18 | 27 | 20 |
| 현시4 | 17 | 29 | 40 |
| 현시1 | 13 | 32 | 40 |
| 현시2 | 23 | 28 | 40 |
| 현시3 | 19 | 32 | 30 |
| 현시4 | 19 | 29 | 50 |
| 현시1 | 18 | 36 | 50 |
| 현시2 | 24 | 30 | 50 |
| 현시3 | 23 | 27 | 50 |
| 현시4 | 19 | 34 | 30 |

이값을 토대로 그림 5.와 같은 제어규칙을 통해 PI 값이 작은 제어규칙중 후반부 파라메타를 정한다.




(a)




(b)

그림 5. 제어 규칙

Fig. 5. control rule.

## Ⅳ. 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션을 위해서 센서(loop detectfor)가 1초에 한번씩 차량을 검지 한다는 가정하에 3600번 (1시간)동안 차량을 랜덤하게 발생하였다.

차량의 흐름은 랜덤함수로서 각 차선별로 발생시켜서 퍼지 제어기와 기존의 전자 감응식 제어기의 입력으로 인가하였다.

전체 시뮬레이션의 흐름도는 그림 6.과 같다.

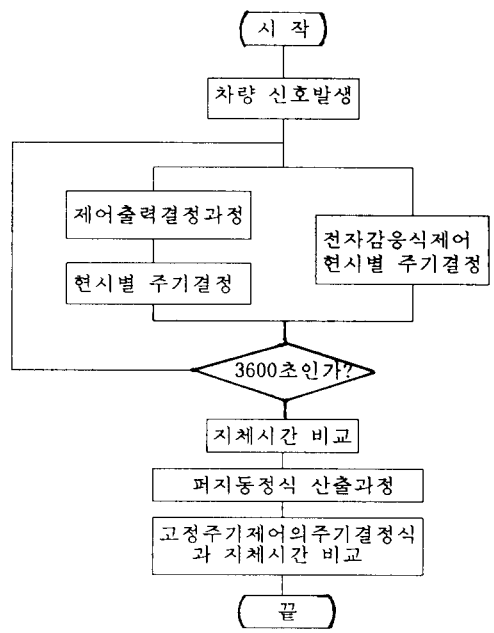



그림 6. 컴퓨터 시뮬레이션 흐름도

Fig. 6. Computer simulation flowchart.

## Ⅴ. 결과및 고찰

각 현시에서 퍼지 알고리듬을 통해서 구한 녹색 신호등의 연장시간은 인간 (operator)에 의해서 주기를 결정한 것으로 가정하였고 그때의 현시별 주기를 그림 7.에 나타내었는데 다섯주기(20현시)동안의 연장시간E(y)를 Y축에 나타내어 감 응식제어기보다 제어출력과정을 통한 퍼지제어기의 연장시간의 변화가 민감함을 알수 있다.

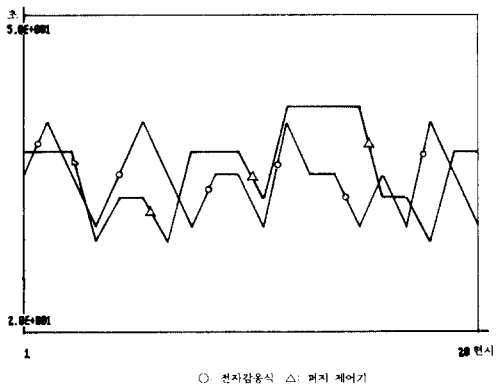



그림 7.현시별 주기 비교도
Fig. 7. Comparison of cycle for each phase.

두 제어기에 인가된 데이터에 의해서 차량 한대당 소요된 지연 시간을 계산한 결과를 표 4.에 나타내었는데 각 차선별 평균차량분포는 임의의 차량수로 시작하여 가능한한 차선별 모든 경우의 수를 다루는 의도에서 180대/시간 에서 2520 대 /시간 범위로 정하여서 실험하였다. 표 4에서 알수 있듯이 기존의 전자감응식 제어기보다 퍼지 논리 제어기가 약 13%정도 지체시간이 감소함을 알수있고 퍼지동정 주기식은 약 9%정도 고정주기식보다 지체시간이 감소함을 알수있다.

표　4. 평균지연 시간 비교표
Table. 4. comparison table of average delay time.

| qn2 대 / 시간 | qn1 대 / 시간 | 평균지연시간(초/대) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 감응식제어 | 퍼지 논리 | % | 고정주기 | 퍼지동정 | % |
| 360 | 180 | 3.5 | 3.1 | -11 | 3.5 | 3.2 | -9 |
| 360 | 360 | 3.7 | 3.3 | 11 | 3.7 | 3.6 | -3 |
| 720 | 720 | 4.0 | 3.7 | 7 | 4.0 | 3.9 | -3 |
| 720 | 1080 | 4.2 | 3.9 | 7 | 4.2 | 4.1 | -3 |
| 720 | 1440 | 4.6 | 4.2 | 8 | 4.6 | 4.4 | -4 |
| 1080 | 2160 | 7.8 | 6.9 | 11 | 7.8 | 7.0 | -11 |
| 1440 | 2520 | 5.0 | 4.0 | -20 | 5.0 | 4.3 | -14 |
| 1440 | 180 | 5.3 | 4.4 | -16 | 5.3 | 5.0 | -6 |
| 1440 | 360 | 6.0 | 5.5 | -8 | 6.0 | 5.8 | -4 |
| 1880 | 720 | 7.9 | 7.1 | -10 | 7.9 | 7.5 | -5 |
| 1800 | 1080 | 9.1 | 9.2 | -14 | 10.7 | 9.7 | -10 |
| 1880 | 1440 | 10.7 | 9.3 | -13 | 11.2 | 11.1 | -3 |
| 2160 | 1880 | 11.4 | 9.9 | -13 | × | 11.8 | - |
| 2160 | 2160 | 12.9 | 11.2 | -12 | × | 12.3 | - |
| 2160 | 2520 | 13.8 | 12.0 | -12 | × | 13.2 | - |

× : 해당사항 없음

그림 8.은 표 4.의 결과를 그래프로 보여주고 있는데 모든 현시의 경우에서 퍼지 제어기가 지체시간면에서 전자감응식의 주기결정방식인 웹스터식이나 그린쉴드 방 식보다 감소함을 보이고 있다.

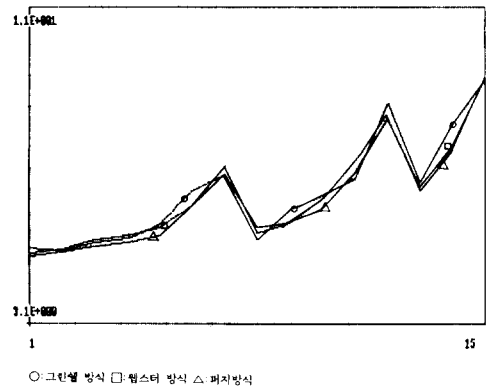



그림 8. 평균 지연시간 비교도
Fig. 8. Comparison of average delay time.

## Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 교통제어 전문가가 설정한 임의의 교차로에 대한 차량제어 방식을 퍼지 규칙화하여 퍼지 알고리듬으로 퍼지 규칙 베이스 제어기를 구현한 후 이를 통해 가장 적절한 주기를 현시별로 결정하였다. 이주기는 인간에 의하여 결정되어진 가장 이상적인 주기로 가정할수 있으므로 이 주기값들의 비선형적인 분포를 퍼지 동정 알고리듬을 통해 기존의 고정주기식을 대치하는 퍼지 동정결정식으로 표현하였다.

시뮬레이션 결과 각 차선의 평균 차량별 지체 시간에서 퍼지동정 결정식과 제어 출력 과정의 퍼지논리 교통제어기가 각각 고정 주기방식의 주기결정식과 전자 감 응식 제어기에 비해 개선됨을 보여주고 있으나 보다 효율적인 제어와 상황에 적합한 판단을 위해 시스템의 상태에 따라 입출력 환산 계수, 제어 변수의 멤버쉽 함수를 자동 조정 할수있는 알고리듬이 고안된다면 지체시간 감소에서 더욱더 효과적 일것이라 생각된다.

연동관계에 있어서는 현재 고정주기 방식으로 이웃 교차로와의 옵셋을 결정하여 연동을 시키는 기본방식으로서는 주기자체를 변경시켜 차량변화에 대응하는 전자 감응식 방식과 상반되는 개념이므로 이를 퍼지 논리 제어기로서 양쪽의 개념을 절충시키는 퍼지룰을 효과적인 퍼지제어기가 구현될것으로 본다.

## 參 考 文 獻


[1] 도철웅,교통공학 원론, 청문각, p.448-598, 1990.

[2] L. A. Zadeh, "Fuzzy Set", Inform. Contr., vol.8, pp.338-353, 1965.

[3] C. P Pappis and Ebrahim H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Contoller for a traffic Junction," *IEEE trans. Sysyt.*, Cybern., vol. SMC-7, no.10. oct., 1977.

[4] Takagi, T. and Sugeno, M. "Fuzzy Identification of System and Its Applications to Modeling and Control", *IEEE Trans.* On System, Man, and Cybernatics, vol.SMC-15, no.1, pp.116-132, 1985.

[5] F. V Webster, "Traffic Signal Setting", Technical. Paper 3.9. Road Research Laboratory, 1958.

[6] A Kaufmann, Introduction to Theory of Fuzzy Subsets, New - York : Acamedic, 1975.

[7] A. Kaufmann and M. M. Gupta, Introduction to Fuzzy Arithmetic, New - York : Academic, 1975.

[8] Chun Chien Lee, "Fuzzy Logic Control Control Systems : Fuzzy Logic Controller-Partl" *IEEE trans. Syst.*, Cybern., vol.20, NO.2, March/ April,1990.

[9] P. N. Marmos, "Fuzzy Logic and Its Application to Switching Systems", IEEE Trans. Comput., vol. c-18, PP. 343-348, 1969.

[10] 황희수,외 "하수처리 활성오니공정을 위한 규칙 베이스 퍼지 제어기 설계" 전자공학회지 28,7. 557-565, 1991.

[11] 진현수,외 "퍼지 이론을 위한한 도시 교통 신호등의 제어에 관한 연구", 대한전자공학회 제어계측 연구회 합동학술발표회 논문집,93-96, 1991.

[12] 진현수, 외 "퍼지 로직을 이용한 교통신호등의 최적 주기및 현시제어", 대한 전자공학회,대한 전기학회,한국 통신학회, 인공지능,신경망및 퍼 지시스템 종합합동 학술회의 논문집,1991.


## 著 者 紹 介

**陳 炫 秀(正會員)**

1962년 2월 17일생. 1986년 2월 서울 시립대 전자공학과 졸업. 1992년 8월 서울시립대 대학원 전자공학과(공학석사). 1990년 1월 ~ 현재 서울시립체육시설 관리사업소 전기직 근무. 1993년 2월 ~ 현재 서울시립대 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 제어 및 인공지능, 뉴로-퍼지, 전력 제어 등임.

•

**金 載 弼(準會員)**

1992년 2월 연세대학교 의용전자공학과 졸업. 1992년 3월 ~ 현재 서울시립대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 1992년 3월 ~ 현재 금성소프트웨어 근무. 주관심분야는 제어 및 인공지능, 뉴로-퍼지 등임.

**金 鍾 元(正會員)**

1962년 10월 24일생. 1987년 2월 서울시립대 전자공학과 졸업. 1991년 2월 서울시립대 전자공학과 대학원 석사학위 취득. 1992년 3월 ~ 현재 서울시립대 전자공학과 박사과정재학중. 주관심분야 제어 및 신호처리, 의용전자.

•

**洪 玩 喜(正會員)** 第 25卷 第 2號 參照
현재 서울시립대 전자공학과 교수

•

**金 成 煥(正會員)** 第 25卷 第 2號 參照
현재 서울시립대 전자공학과 교수