

## 퍼지 추론 규칙을 이용한 교통 신호 제어

김 광 백\*

### Traffic Signal Control using Fuzzy Reasoning Rule

Kwang-Baek Kim\*

#### 요 약

우리나라 자동차의 수는 1990년부터 계속 증가하고 있다. 계속되는 자동차 수의 증가로 인해 휴일, 출퇴근 시간에 교통이 혼잡 또는 마비되는 문제가 발생한다. 하지만 기존의 신호등 체계는 통계적인 수치에 의해 결정되기 때문에 항상 일정하지 않은 차량의 수를 제어하기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 실시간으로 변하는 차량의 수와 점유시간에 따라 퍼지 제어 기법을 이용하여 신호를 제어하는 방법을 제안한다. 제안된 교통 신호 제어 방법은 교차로에 대기하는 차량의 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법에 적용하여 차량의 진행 신호에 대한 우선순위를 부여한다. 가장 높은 우선순위를 가지는 현시에 대해 진행 신호를 부여하고 나머지는 대기하게 된다. 그리고 진행 신호의 시간을 교차로에 대기하는 모든 차량의 수와 차량의 비율, 진행 신호를 부여 받은 차량의 수를 이용하여 계산한다. 본 논문에서는 제안된 퍼지 신호 제어 기법과 정적인 신호 제어 기법에 대해 시뮬레이션을 통해 실험한 결과, 차량 혼잡도와 상관없이 제안된 차량 신호 제어 기법이 동일한 시간에 더 많은 차량이 원활하게 소통되는 것을 확인하였다.

#### Abstract

The number of automobiles are continuously increasing in Korea since 1990's and it causes frustrating commuting traffic and holiday traffic. Meanwhile, the obsolete traffic signal control system is still under static control based on the aggregated traffic statistics thus it is not sufficiently adaptive in real world traffic situation that changes in real time. Thus, in this paper, we propose an adaptive signal control system using fuzzy control technology that can react to real time traffic situations. The method computes the priority of signal phases based on the number of waiting automobiles and occupying time on intersection using fuzzy membership functions. The phase with highest priority obtains "proceed" signal. Also, the duration of this "proceed" signal is determined based on the ratio of number of waiting automobiles of given phase and total number of waiting automobiles on intersection. In experiment, we show that the proposed fuzzy control system is better than the static control system for all sorts of traffic congestion situations by simulation.

▶ Keyword : 신호 제어 시스템(Signal control system), 퍼지 제어 기법(Fuzzy control technology), 교통 혼잡도(Traffic congestion situation)

• 제1저자 : 김광백

• 투고일 : 2010. 05. 11, 심사일 : 2010. 06. 01, 게재확정일 : 2010. 07. 20.

\* 신라대학교 컴퓨터정보공학부 교수

## I. 서론

1990년대 이후 국민총소득이 꾸준히 증가하였다. 이는 개인의 월 평균 소득이 늘어났다는 것을 의미하는데, 개인의 평균 소득 증가는 개인이 보유하는 차량의 증가로 이어진다. 차량이 증가한 정도는 그림 1을 통해 확인할 수 있다.

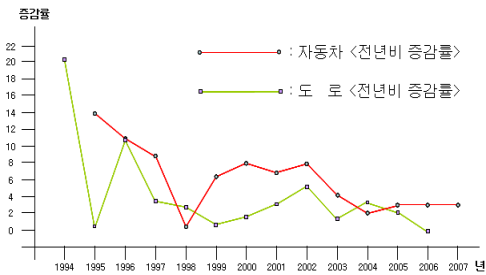


그림 1. 전년비 증감률

Fig 1. Year-on-year rate of automobiles and road

1995년 이후 차량의 증가량이 도로의 증가량 보다 평균적으로 높은 형태를 보이는데[1], 이러한 현상이 교통체증을 점점 심각하게 만드는 원인이 된다. 우리나라의 국토는 한정되어 있지만, 차량은 계속 증가하여 더욱 교통 체증이 심각해질 것이다. 교통 체증 증가로 자동차가 공회전 하는 시간 또한 늘어 날 것이다. 휘발유 승용차를 기준으로 하루 5분씩 공회전을 줄이면 최소한 연간 평균 5만원의 연료비를 아낄 수 있다. 국내에 등록된 자동차 1643만 대로 따지면 연간 5000억 원 이상이다. 따라서 교통 신호를 효율적으로 제어하면 이러한 문제를 개선시킬 수 있다[2]. 우리나라 대부분의 교차로 신호체계는 그 교차로의 신호현시를 따른다. 이러한 신호현시는 차량의 통계에 의해 만들어져 있기 때문에, 항상 일정하지 않은 차량의 수를 제어하기에는 비효율적이다[3,4,5].

기존 교차로의 신호현시는 1현시부터 4현시로 규정한다. 도착교통량을 모두 수용해서 주 차선만의 신호주기를 구하는 Green-Shields의 방법 또는 도착 교통량의 처리여부에 관계없이 차량의 총 지체를 최소화 하는 Webster방법을 이용하여 각 신호현시에 진행 신호 시간을 할당한다. 진행 신호 시간이 부여된 각 현시를 순차적으로 반복하는 방식으로 교통 신호를 제어한다. 이러한 방법은, 한정된 도로에서의 통계적으로 적용될 뿐, 시시각각으로 변화하는 차량의 증가, 감소, 대기 차량의 길이를 예측할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 실시간으로 변화하는 차량의 수와 점

유시간에 따라 퍼지 제어 기법을 이용하여 신호를 제어하는 방법을 제안한다. 제안된 교통 신호 제어 방법은 교차로에 대기하는 차량의 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법에 적용하여 차량의 진행 신호에 대한 우선순위를 부여한다. 가장 높은 우선순위에 한해서 진행 신호를 부여하고 나머지는 대기하게 된다. 그리고 진행 신호의 시간을 교차로에 대기하는 모든 차량의 수와 차량의 비율, 진행 신호를 부여 받은 차량의 수를 이용하여 계산한다.

## II. 퍼지논리를 이용한 교통 신호 제어

본 논문에서 제안하는 퍼지 제어 기법의 구조는 그림 2와 같다. 대기차량의 소속도와 점유시간의 소속도를 퍼지 제어 규칙에 적용하여 진행 신호를 부여할 현시를 선택한다. 선택된 현시에 대해서 진행 신호 시간을 할당한다. 할당된 진행 신호 시간만큼 차량을 순환시키는 과정을 반복한다.

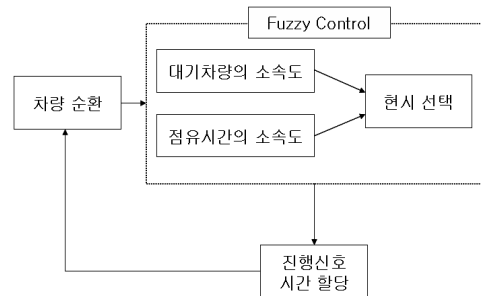


그림 2. 퍼지 제어 시스템

Fig 2. Fuzzy signal control system

### 2.1 신호 현시

기존 교차로의 신호현시는 그림 3과 같이 1현시부터 4현시로 규정한다. 도착교통량을 모두 수용해서 주 차선만의 신호주기를 구하는 Green-Shields의 방법 또는 도착 교통량의 처리여부에 관계없이 차량의 총 지체를 최소화 하는 Webster방법을 이용하여 각 신호현시에 진행신호 시간을 할당한다. 진행신호 시간이 부여된 각 현시를 순차적으로 반복하는 방식으로 교통 신호를 제어한다[3,5].

이러한 방법은, 한정된 도로에서의 통계적으로 적용 될 뿐, 시시각각으로 변화하는 차량의 증가, 감소, 대기 차량의 길이를 예측할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 그림 4와 같이 1현시부터 8현시까지 규정한 후, 각 현시에 해당하는 차량의 수와 점유시간을

측정한 후, 퍼지 제어 기법에 적용하여 신호를 제어한다.

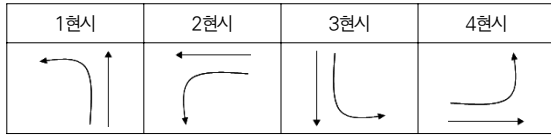


그림 3. 정적인 교차로 4현시  
Fig 3. Static 4 phase signals

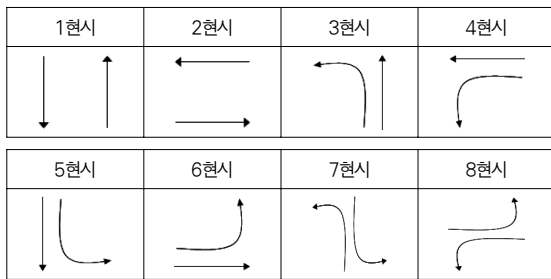


그림 4. 동적인 교차로 8현시  
Fig 4. Dynamic 8 phase signals

## 2.2 신호 제어

제한된 교통 신호 제어 방법은 교차로에 대기하는 차량의 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법에 적용하여 8현시에 대한 각각의 우선순위를 부여한다. 각 현시에 대한 대기 차량의 수와 점유시간은 퍼지 제어 기법의 입력 값으로 적용한다.

대기 차량에 대한 소속 함수는 그림 5와 같고, 점유 시간에 대한 소속 함수는 그림 6과 같다. 각각에 대한 소속 함수의 소속 구간은 경험에 의해 값을 설계하였다.

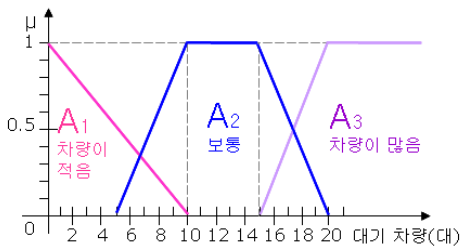


그림 5. 대기 차량에 대한 소속 함수  
Fig 5. Membership function for number of waiting automobiles

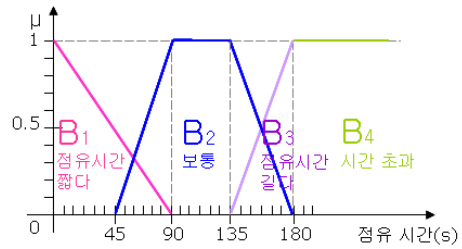


그림 6. 점유 시간에 대한 소속 함수  
Fig 6. Membership function for occupancy

우선순위를 정하기 위한 신호 출력 소속 함수는 그림 7과 같다.

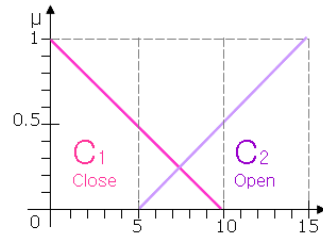


그림 7. 신호 출력 소속 함수  
Fig 7. Membership Function for Signal Output

표 1. 퍼지 추론 규칙  
Table 1. Fuzzy Reasoning Rules

$R_1$	If $X$ is $A_1$ and $Y$ is $B_1$ Then $W$ is $C_1$
$R_2$	If $X$ is $A_1$ and $Y$ is $B_2$ Then $W$ is $C_1$
$R_3$	If $X$ is $A_1$ and $Y$ is $B_3$ Then $W$ is $C_1$
$R_4$	If $X$ is $A_1$ and $Y$ is $B_4$ Then $W$ is $C_2$
$R_5$	If $X$ is $A_2$ and $Y$ is $B_1$ Then $W$ is $C_1$
$R_6$	If $X$ is $A_2$ and $Y$ is $B_2$ Then $W$ is $C_1$
$R_7$	If $X$ is $A_2$ and $Y$ is $B_3$ Then $W$ is $C_2$
$R_8$	If $X$ is $A_2$ and $Y$ is $B_4$ Then $W$ is $C_2$
$R_9$	If $X$ is $A_3$ and $Y$ is $B_1$ Then $W$ is $C_1$
$R_{10}$	If $X$ is $A_3$ and $Y$ is $B_2$ Then $W$ is $C_2$
$R_{11}$	If $X$ is $A_3$ and $Y$ is $B_3$ Then $W$ is $C_2$
$R_{12}$	If $X$ is $A_3$ and $Y$ is $B_4$ Then $W$ is $C_2$

대기 차량 수와 점유 시간에 대한 퍼지 제어 기법의 입력 값을 정하고 각 소속 함수에 대한 소속도를 구한 후, 표 1과

같이 퍼지 제어 규칙을 적용하여 *Max-Min* 방법(6)으로 추론한다. 표 1의 *X*는 대기 차량 수, *Y*는 점유시간, *W*는 진행 신호 여부를 나타낸다.

무게 중심법(7)을 이용하여 비퍼지화를 수행한 후 우선순위를 정하게 된다. 무게중심은 식(1)과 같이 계산한다.

$$y^* = \frac{\sum \mu(y_i)x_i}{\sum (y_i)} \dots\dots\dots (1)$$

우선순위가 가장 높은 현시에 대한 진행 신호 시간을 계산한다. 진행 신호 시간 계산은 식 (2)와 같다.

$$Open\ Time = \frac{Open\ Signal\ Car\ Num}{Total\ Car\ Num} \times Time\ Rate \dots\dots (2)$$

식(2)에서 *OpenTime*은 진행 신호 시간이고 *OpenSignalCarNum*는 우선순위가 높은 현시에 대기하고 있는 차량 수이다. *TotalCarNum*은 교차로에 대기하고 있는 총 차량 수이고 *TimeRate*는 시간 비율이다.

본 논문에서는 *OpenSignalCarNum*을 우선순위가 높은 현시에 대기하고 있는 진행방향이 다른 두 차량의 수 중 큰 값을 선택한다. 큰 값을 선택함으로써 그림 8 (a)와 같이 비대칭일 경우 진행 신호 시간을 많이 할당하고, 그림 8(b)와 같이 대칭일 경우 진행신호 시간을 적게 할당하여, 모든 차량을 순환시키기에 충분한 시간을 할당한다.

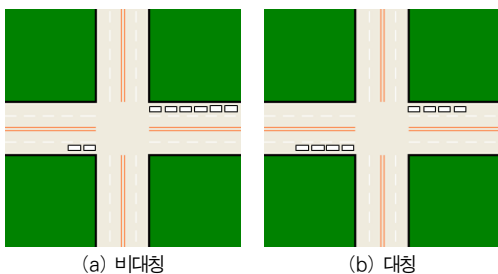


그림 8. 교차로 상황  
Fig 8. Situations on Intersection

*TimeRate*는 식 (3)과 같이 계산된다.  $A_1, A_2, A_3$ 는 대기 차량에 대한 퍼지 소속 함수에 설계된 소속 구간의 중간 값인 20, 12, 5로 설정하였다.

$$if (Total\ Car\ Num \leq A_3) \\ Time\ Rate = Time\ Rate/1.5;$$

$$if (Total\ Car\ Num \leq A_2) \\ Time\ Rate = Time\ Rate/3; \dots\dots\dots (3)$$

$$if (Total\ Car\ Num \leq A_1) \\ Time\ Rate = Time\ Rate/4;$$

### III. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 방법을 Intel Pentium-IV 3.0GHz CPU와 2GB RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0에서 시뮬레이션을 구현하여 실험하였다.

실험에 사용된 시뮬레이션은 같은 환경에서 그림 3과 같은 정적인 4현시 신호등을 배치한 상황과 제안된 교통 신호제어 시스템을 사용하는 동적인 8현시 신호등을 배치한 상황을 비교 할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션의 실행 화면은 그림 9와 같다.

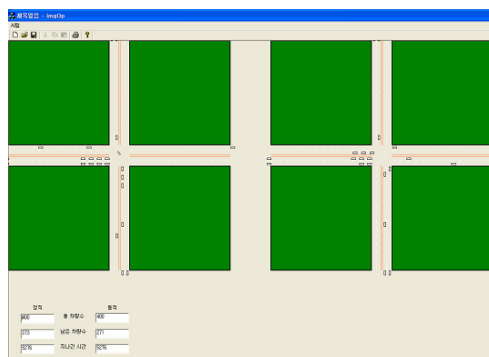


그림 9. 제안된 방법의 시뮬레이션 실행 화면  
Fig 9. Snapshot of Simulation

시뮬레이션을 이용하여 실험한 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 차량밀도는 혼잡한 정도를 의미하는데 수치가 낮을수록 혼잡한 정도가 높음을 의미한다. 표 2는 제안된 동적인 교통 신호 제어 방법과 정적인 교통신호 제어 방법 간의 소요시간을 비교한 표이다. 차량소통이 원활할 경우에는 1.03 : 1의 시간 비율, 차량소통이 혼잡할 경우에는 1.94 : 1의 시간 비율로 동일한 차량을 더 빠른 시간에 순환시켰다. 특히 차량소통이 혼잡할 경우에는 약 2배의 시간이 단축되었음을 확인 할 수 있다.

표 2. 시뮬레이션 결과  
Table 2. Simulation Result

차량수	차량 밀도	패턴	정적	동적
50	40	1	1193	1674
		2	2081	1541
		3	2217	1541
		4	1490	1378
		5	1949	1571
	80	1	2200	1803
		2	1383	1350
		3	1977	1942
		4	2799	2577
		5	2262	1958
	120	1	2334	2314
		2	2917	2620
		3	3298	3078
		4	2578	2463
		5	2225	1968
100	40	1	5436	3196
		2	3584	2587
		3	3677	2865
		4	4120	2526
		5	3352	2849
	80	1	5803	4147
		2	3128	2941
		3	3991	3684
		4	3078	2815
		5	3865	3438
	120	1	5171	4864
		2	3604	3253
		3	5978	5411
		4	3599	3392
		5	8232	7723
200	40	1	8102	4706
		2	6021	3380
		3	6436	3683
		4	7441	4441
		5	5142	3814
	80	1	8061	6745
		2	3958	3732
		3	4351	4036
		4	5047	4932
		5	5572	4938
	120	1	8140	7841
		2	12977	12551
		3	8173	8001
		4	6782	6535
		5	6421	6178

그림 10과 같은 교차로 상황에서 7현시에 대기하는 차량이 2현시에 대기하는 차량보다 더 많지만, 2현시에 우선순위를 높게 부여 하는 것이 차량의 비율이 1:1에 가까워 같은 시간에 더 많은 차량이 순환하게 되기 때문에 더 효율적인 것을 알 수 있다.

표 3. 혼잡도를 기준으로 한 소요시간 비교  
Table 3. Elapsed Time based on Traffic Congestions

혼잡도	차량밀도	정적	동적	비율	총
혼잡	40	137872	70984	1.94 : 1	1.29 : 1
보통	80	127726	102758	1.24 : 1	
원활	120	158712	153544	1.03 : 1	

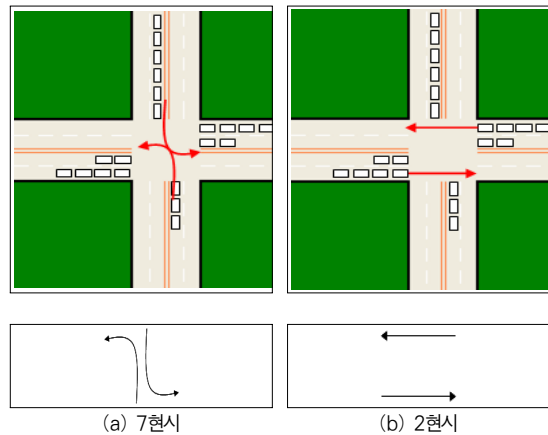


그림 10. 교차로 상황  
Fig 10. A Special Situation on Intersection

### IV. 결론

본 논문에서는 퍼지 논리를 이용하여 신호를 효과적으로 제어 하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 신호 현시를 8 현시로 규정하였고, 교차로에 대기하는 차량의 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법에 적용하여 각각의 현시에 대한 우선순위를 부여하였다. 가장 높은 우선순위를 가지는 현시에 대해 교차로에 대기하는 모든 차량의 수와 차량의 비율, 진행 신호를 부여 받은 차량의 수를 이용하여 진행 신호 시간을 계산하였다. 이와 같이, 우선순위가 높은 현시에 대해 진행 신호를 부여하는 방법을 반복 수행하였다. 그 결과, 차량 수와 혼잡한 정도에 상관없이 정적인 신호등을 배치한 상황보다 효율적으로 신호를 제어하였다. 특히 혼잡한 정도가 높을 경우 더욱 효율적인 것을 확인하였다.

따라서 향후 연구 과제로는 제안된 신호 제어 방법에 차량 비율에 대한 퍼지 소속 함수를 추가하여 더욱 효율적으로 교통 신호를 제어하는 방법을 연구할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 국가 통계청 포털사이트 : <http://www.nso.go.kr>
- [2] 에너지 관리공단 포털사이트 : <http://www.kemco.or.kr>
- [3] 홍유식, "최적교통신호등," 대한전자공학회논문지, 제 40권, 4호, 181-192쪽, 2003년 7월.
- [4] 홍유식, 박종국, "승용차환산계수를 고려한 퍼지 교통 신호 등의 연구," 퍼지시스템학회 추계학술대회논문집, 4권, 2호, 244-247쪽, 1994년 10월.
- [5] Hoyer, R., Jumar, U., "Fuzzy control of traffic lights," IEEE World Congress on Computational Intelligence, Vol.3, pp.1526-1529, June 1994.
- [6] Jamshidi, M., Vadiiee, R., Ross, T. J., "Fuzzy Logic and Control," Prentice-Hall, Inc... 1993.
- [7] Babuska, R., "Fuzzy Modeling for Control," Kluwer Academic Publishers, 1998.

## 저자소개



김 광 백

1999년 : 부산대학교 전자계산학과  
(이학박사)

1997년~현재 : 신라대학교 컴퓨터  
정보 공학부 교수

2005년~현재 : 한국해양정보통신학회  
학술상임이사

2008년~현재 : Scientific Journals  
International  
(USA) Editor

관심분야 : 퍼지 논리, 영상 처리,  
유전자 알고리즘, 의료  
정보시스템, 생물정보학