

# 퍼지 논리를 사용한 교통망 제어기의 개발

김 종 완<sup>†</sup> · 한 병 준<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문은 교통량이 변하는 복수 교차로망의 신호등 제어에 적합한 지능형 신호 제어기를 제안한다. 교차로망이란 하나의 교차로가 사방으로 연결된 교차로이다. 기존의 교차로 제어방법들은 주로 단일 교차로를 대상으로 연구가 수행되었다. 하지만 단일 교차로 제어는 현실의 교통 상황과는 차이가 있다. 본 논문에서는 교통량과, 녹색 신호시 교차로로 진입하는 차량 수와 적색 신호동안 대기하는 차량수를 퍼지 제어의 입력변수로 사용하여, 현재 녹색 현시의 확장시간을 조정하는 퍼지 교통망 제어기를 개발한다. 제안된 방법은 기존의 교차로 신호 주기 제어 방법들과 시뮬레이션을 수행하여 비교하였다. 실험 결과는 제안된 퍼지 논리 제어기가 기존의 방법들에 비하여 차량당 지체시간과 논문에서 제안된 비용함수 면에서 우수함을 보여준다.

## Development of A Traffic Network Controller using Fuzzy Logic

Jong-Wan Kim<sup>†</sup> · Byung-Joon Han<sup>††</sup>

## ABSTRACT

This paper presents an intelligent signal controller for controlling the traffic lights on traffic junction network with dynamic traffic flow, where a junction is connected to adjacent junctions on four sides. Prior researches have been done on the single traffic junction. However, it is difficult to apply single junction controller to real traffic situation. In this paper, we develop a fuzzy traffic network controller which adjusts the extension time of current green phase by using the fuzzy input variables such as the number of entering cars at the green light, the number of waiting cars during the red light, and the traffic volume. The proposed method was compared to the existing junction signal control methods on various traffic simulations. Simulation results show that the proposed fuzzy logic controller outperforms the existing controllers in terms of average delay time of cars and the cost function defined in this paper.

### 1. 서 론

80년대 이후 차량들의 급격한 증가로 인한 교통체증은 심각한 수준이다. 결과적으로 시간낭비, 인명피해, 연료비용의 증가 등 경제적, 사회적, 환경 피해가 막대하여 수도권 연간 교통혼잡 비용이 1993년 기준으로

약 3조원에 이르렀다[1]. 적은 비용으로 단 시일에 교통혼잡을 경감시킬 수 있는 해결책은 합리적으로 교통신호 체계를 운용하는 것이다.

교통 신호 제어방법은 고정시간 제어(pretimed control)와 감응식 제어(actuated control)로 나눌 수 있다. 먼저 고정시간 제어는 주기(cycle), 현시 순서 (phase sequence)와 같은 모든 제어 변수가 고정되어 있으며, 시간대별 교통류 특성을 반영하기 위해서 시간대별 (TOD : Time of Day) 신호시간 계획에 의하여 제어가 이루어진다. 여기서 주기는 신호등의 동화가 완전

\* 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원 : 대구대학교 컴퓨터정보공학부 교수

†† 준 회 원 : 경북대학교 대학원 컴퓨터공학과

논문접수: 1998년 5월 4일, 심사완료: 1998년 9월 24일

히 한 번 바뀌는 것 또는 그 시간의 길이를 나타내고, 현시는 한 주기 중에서 신호 표시가 변하지 않는 일정한 시간구간 또는 신호의 상태를 뜻한다[2]. 이 방법은 각 교차로의 교통 상황을 정확히 고려하지 않고 정해진 규칙에 의해 신호등을 제어하므로 교통 상황에 적절한 대응을 하지 못한다. 감응식 제어는 정해진 신호 시간 계획을 갖지 않고 감지된 차량의 존재 유무에 따라 일정한 단위 연장시간에 의해 신호를 제어하지만, 차량의 분포가 일정치 않을 때는 불필요하게 녹색 시간(green time)을 낭비하게 되어 신호 제어의 효율을 떨어뜨리는 요인이 된다[2].

교통 신호 제어에 있어 진입차량수, 대기차량수, 적색신호 대기시간 등을 사용하여 현재 녹색 시간을 연장하거나 현시를 바꾸는 제어기는 여러 입력변수들로써 추론하여 가장 적절한 판단을 내려야 한다. 이러한 교통 신호 제어기의 추론방법으로 애매한 규칙 표현에 적합하고 실시간에 이용 가능한 퍼지 이론의 적용은 타당하고, 이를 도입한 지능적인 신호 제어는 교통 혼잡을 완화시키는 좋은 방안이 될 수 있다.

기존의 퍼지 교통 제어 방법들은 대개 단일 교차로의 신호 주기를 조절할 목적으로 개발되었다. 하지만 우리가 현실에서 경험하는 교차로들은 대개 사방으로 교차로가 연결되는 복수 교차로망으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 이런 실제 교차로 상황에 적합한 교통망 제어기를 개발한다. 제안하는 제어기는 교차로에 진입하는 교통량에 따라 다른 추론 규칙을 사용함으로써, 교통량이 변하더라도 적절하게 차량을 통제시키는 새로운 퍼지 교통망 제어기이다. 따라서 제안된 방법은 실제의 교차로처럼 교통량이 많이 변하는 경우에 적용시키면 좋은 효과를 기대할 수 있다.

본 논문의 2장에는 퍼지 교통 제어 방법을 소개하고, 3장에는 제안된 퍼지 교통망 제어기를 기술하고, 4장에는 시뮬레이터에 대한 설명과 실험 결과를 보이며, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 퍼지 교통 제어 방법

대표적인 퍼지 교통 제어에 관한 연구는 다음과 같다. Mamdani와 Pappis는 단일방향 4지 교차로의 신호등 제어를 위한 퍼지 논리 제어기(FLC : Fuzzy Logic Controller)를 제안하였다[3]. 제어기의 입력으로는 현재 녹색 신호후 경과한 시간, 녹색 신호시간동안 교차

로에 진입하는 차량수, 적색 신호시간동안 대기중인 차량수를 사용하고, 출력은 현재 신호의 상태를 연장할 확장시간이다. 제어 규칙은 5개씩 5개의 군(group)으로 구성된 25개를 사용한다. 이 방법은 현실과는 차이가 있는 단순한 교차로를 대상으로 실험하였다.

Gomide 등이 제안한 적응 전략(adaptive strategy)을 가진 퍼지 교통 제어기는 제어기의 성능을 최적화시키기 위해 교통 상황에 따라 소속 함수의 상한을 조정하는 것이다[4]. 통계적 적응과 퍼지 적응의 두 가지 적응전략을 사용하였다. 이 FLC는 기본적으로 녹색 현시를 갖고 진입하는 교통량과 다른 방향에서 형성된 차량에 의한 정보를 입력변수로 사용하여, 현 녹색 현시의 확장시간을 결정한다. 이 방식은 브라질 상파울루시의 특수한 교차로를 대상으로 실험되었으나, 일반적인 교차로와 다르고 실제 환경에서 적응 전략을 적용하기가 쉽지 않다.

Jamshidi 등은 왕복 2차선 도로가 만나는 4지 교차로를 대상으로 3개의 입력변수와 1개의 출력변수를 사용하였다[5]. 입력변수로 녹색 신호후 평균 자동차 밀도, 적색 신호후 평균 자동차 밀도, 현재 사용하는 주기의 길이를 사용하였고, 출력변수로 현재 현시를 바꿀 수 있는 가능성 정도를 사용하여 다음 현시로 바꿀 것인가를 판단한다. 제어 규칙은 모두 26개를 사용하였고 69가지 서로 다른 교통 상황에 대하여 시뮬레이션 하였다. 이 방법은 비교적 많은 시뮬레이션 결과를 제시하고 있으나, 교통흐름이 변하거나 바뀌는 것을 처리하기는 힘들 것으로 예상된다.

김해정 등은 특정 도로의 이전 교통량을 다음 현시를 결정하는데 참조패턴으로 사용하는 교통량 예측기법을 도입한 FLC를 제안하였다[6]. 이 방법에서는 현재 시점의 각 도로의 교통량과 각 도로의 평균 교통량, T분 후의 각 도로의 평균 교통량을 입력변수로, 각 도로의 녹색 신호 지속 시간을 출력변수로 사용한다. 예측기법은 참조 교통량과 실제 교통량의 예측 정도가 우수할 경우에는 좋은 성능을 보이지만, 반대의 경우에는 다른 방식에 비해 나빠지는 단점이 있다.

이지형은 그룹 교차로를 대상으로 각 교차로에 제어기를 설치한 분산형 구조에 대하여 실험하였다[7]. 그룹 교차로란 지리적으로 가까이 위치해 어떤 교차로의 존재가 그 이웃 교차로의 신호제어에 고려되어야 하는 교차로들의 그룹이다. 이 제어기는 긴급도 모듈, 정지도 모듈, 판단 모듈로 구성되어 있다. 긴급도란 한

차선의 교통상황을 종합한 지표이며, 정지도란 현재 녹색현시의 교통상황을 종합하여 그 현시가 얼마나 충분한 신호시간을 가졌는가를 나타내는 정도이다. 판단 모듈은 이 두 모듈의 결과를 종합하여 현시를 바꿀 것 인지를 결정한다. 이 제어기는 6개의 입력변수를 사용하여 연동제어를 시도하지만, 각 개별 교차로의 계산량이 과다하다는 문제가 있다.

이외에도 루프 감지기에 의해 감지된 입력 신호 파형을 신경망을 이용하여, 승용차 환산계수를 생성한 후에 교차로의 특성에 맞는 최적의 오프셋을 구함으로써, 앞막힘 현상을 예방하고 평균 주행속도를 향상시키려는 연구도 있다[8].

### 3. 퍼지 교통망 제어기

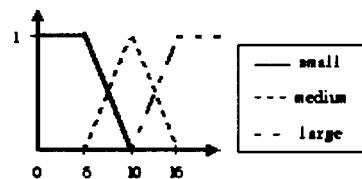
퍼지 논리를 사용하는 지능형 교통망 신호 제어기의 목적은 교통량이 적을 때는 연속되는 정지 신호에 의해 발생하는 교통 지체를 막고, 교통량이 많을 때는 교차로를 통과하는 차량을 최대한 이동시킴으로써 혼잡을 경감시키는데 있다. 본 논문에서는 교통망의 신호를 지능적으로 제어하기 위한 교통 신호 제어기를 개발하려고 한다. 동서남북의 네 방향에서 발생하는 차량의 흐름을 제어하기 위한 교통망의 제어는 단일 교차로의 제어보다 훨씬 어려운 문제이다.

일반적으로 FLC들은 녹색 신호에서 진입하는 차량수와 적색 신호에서 대기중인 차량수만을 사용하여 녹색 신호의 확장시간을 조절한다. 이런 방법들은 교차로에 진입하는 전체 교통량을 고려하지 않고, 단지 제어를 구동시키는 시점의 진행 차량과 대기 차량만을 고려하므로 교통량이 변하는 교차로에는 적합하지 않다. 본 논문에서 제안하는 교통망 제어기는 교차로의 교통량에 따라 다른 퍼지 제어 규칙을 사용하고, 확장시간의 최대값을 변경함으로써 차량 소통을 원활하게 하는 특성을 가지고 있다.

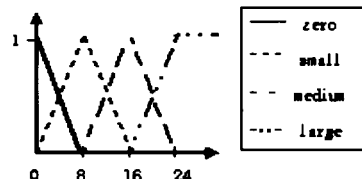
#### 3.1 퍼지 입출력변수와 소속 함수

FLC의 입력변수는 현재 교통망의 정제 상황을 잘 반영할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 기존의 퍼지 교통 제어에서 많이 쓰이는 진입차량수(Arrival)와 대기차량수(Queue)에 추가로 교차로에 진입하는 차량 흐름을 나타내는 교통량(Volume)을 사용한다. 교통량은 교차로에 매초단위로 진입하는 차량수이므로 small,

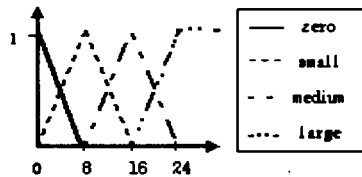
medium, large 등의 3가지 언어적 변수를 사용하고, 진입차량수와 대기차량수는 zero, small, medium, large 등과 같은 4가지 언어적 변수로 표현한다. 퍼지 논리에 의한 출력은 현 녹색 현시의 확장시간(Extension)으로 zero, short, medium, long의 4단계로 표현되고, 교통량과 진입차량수 및 대기차량수에 따라 확장시간 계산 알고리즘에 의해 계산된다. 각 입출력변수의 퍼지화(fuzzification)를 위한 소속 함수가 그림 1에 나타나 있다.



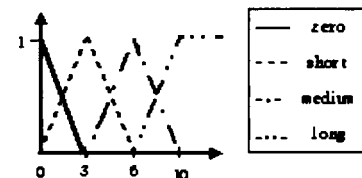
(a) 교통량 (cars/sec)



(b) 진입 차량수 (cars)



(c) 대기 차량수 (cars)



(d) 확장시간 (cars)

(그림 1) 퍼지 입출력변수의 소속 함수  
(Fig. 1) The membership functions of fuzzy input/output variables

#### 3.2 제안된 퍼지 제어 규칙

FLC는 교통량에 따라 세 가지 군으로 나누어지고, 각 군마다 제어 규칙이 다르며, 총 23개의 제어 규칙이 사용되고 있다[11]. 교통량에 따라 군을 나누는 방

법은 그림 1(a)의 소속 함수 그래프를 이용한다. 교통량 값으로 small, medium, large 각각에 대한 소속 정도를 계산하여 최대값을 갖는 군의 제어 규칙을 사용한다. 예를 들어, 교통량의 소속 정도 최대값이 medium 이라면 아래와 같은 9개의 퍼지 제어 규칙에 따라 확장시간을 계산한다.

if 진입차량수 = zero	and 대기차량수 = ANY	then 확장시간 = zero
if 진입차량수 = small	and 대기차량수 = zero	then 확장시간 = short
if 진입차량수 = small	and 대기차량수 = ME(small)	then 확장시간 = zero
if 진입차량수 = medium	and 대기차량수 = zero	then 확장시간 = medium
if 진입차량수 = medium	and 대기차량수 = small	then 확장시간 = short
if 진입차량수 = medium	and 대기차량수 = ME(medium)	then 확장시간 = zero
if 진입차량수 = large	and 대기차량수 = LE(small)	then 확장시간 = medium
if 진입차량수 = large	and 대기차량수 = medium	then 확장시간 = short
if 진입차량수 = large	and 대기차량수 = large	then 확장시간 = zero

여기서 퍼지 규칙내 연산자 "ANY"는 소속 함수값이 1임을 의미하며, 연산자 "ME()"와 "LE()"는 각각 "more than or equal to"와 "less than or equal to"를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$\mu_{ME(x_0)}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{for } x_i < x_0 \\ 1 - \mu_{(x_0)}(x_i) & \text{for } x_i \geq x_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{LE(x_0)}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{for } x_i > x_0 \\ 1 - \mu_{(x_0)}(x_i) & \text{for } x_i \leq x_0 \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $x_i$ 는 퍼지 변수인 대기차량수의 값이 되고,  $x_0$ 는 퍼지 변수의 소속 함수값이 최대가 되는 퍼지 변수의 좌표축 값이며,  $\mu_{(x_0)}(x_i)$ 는  $x_i$ =대기차량수이고  $x_0$ ="small" 또는 "medium" 등의 언어항을 가질 때의 소속 함수값을 나타낸다.

위의 퍼지 규칙들의 기본 개념은 진입차량수가 대기차량수 보다 작으면 확장을 시키지 않고, 많은 경우에는 그 정도에 따라 확장을 시킨다는 것이다. 교통량이 small과 large인 경우의 퍼지 규칙들도 같은 기준으로 각각 7개씩 선정하였다. 특히, 제안된 방법은 기존의 방법과 달리 교통량에 따라 다른 확장시간의 한계 값을 사용한다. 즉 교통량이 small이면 확장시간={zero, short}, medium이면 확장시간={zero, short, medium}, large이면 확장시간={zero, short, medium, long}을 사용한다. 이는 교통량이 작을 때는 확장을 0~3초, 보통

이면 0~6초, 많으면 0~10초로 다르게 연장함으로써 교통량에 따라 원활한 교차로 소통이 이루어지도록 하였다. 이때 확장시간이 0초라면 현시가 다음 현시로 바뀌는 것을 의미한다.

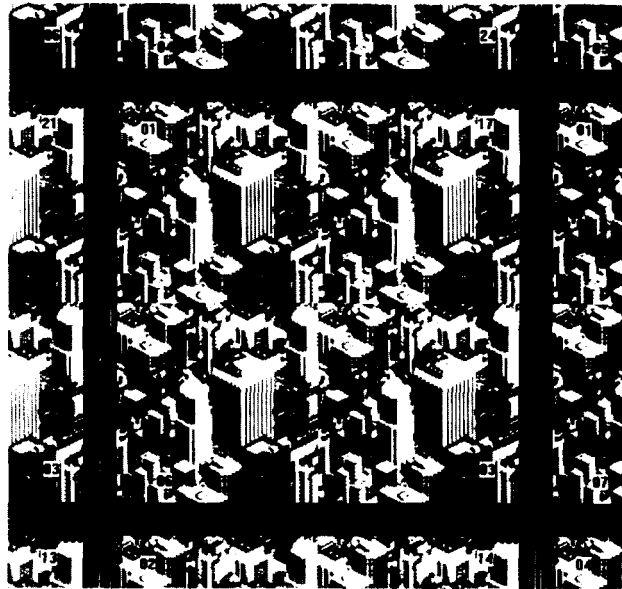
출력변수의 비퍼지화(defuzzification)를 위해 무게중심법(center of gravity)을 사용한다. 무게중심법은 출력 퍼지 집합의 무게중심을 구하고, 이 실수 값을 제어의 실제 입력으로 사용하는 방법이다[9].

#### 4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션의 편의성과 실제 적용 가능성을 고려하여 본 논문에서는 다음과 같은 상황을 가정한다. 교통망은 4×4 행렬 형태의 구조를 가진다. 교통망내의 각 교차로는 진행 방향별로 3차선으로 설계한다. 진행방향의 우측차선은 우회전과 직진 차선, 중앙차선은 직진전용 차선, 좌측차선은 좌회전전용 차선이다. 또한 길이가 5m인 승용차를 차종으로 사용하였으며, 교차로 간의 거리는 400m로 지정하였다. 그리고 교통 상황의 정보를 얻기 위해 각 방향별로 교차로의 정지선에 위치한 전방 감지기와 정지선 후방 150m 떨어진 곳에 후방 감지기가 설치된 것으로 가정한다. 시뮬레이션에 사용된 복수 교차로망의 구조는 그림 2와 같다. 그림 2에는 전체 16개의 교차로망 중에서 일부 교차로만을 보여주고 있다. 그림 2의 교차로 옆에 있는 숫자들은 각 방향의 차량수를 나타낸다. 즉 좌상단 교차로에 있는 숫자들 중 "06"은 북남 방향의 진입차량수가 6대, "04"는 동서 방향의 대기차량수가 4대, "21"은 서동 방향의 대기차량수가 21대, "01"은 남북 방향의 진입차량수가 1대임을 각각 나타낸다.

##### 4.1 시뮬레이터의 개발

복수 교차로망에서 교통 신호 제어 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이터를 Windows 95 환경에서 대표적인 객체지향 언어인 Visual C++로 개발하였다[10]. 객체지향 프로그래밍은 모듈 형태로 프로그램 개발을 허용하므로, 시뮬레이터의 확장이나 유지보수가 쉽다. 본 시뮬레이터에서는 난수 발생 함수로부터 포아송 분포(Poisson distribution)의 값을 얻어서 이에 따라 차량을 발생시킨다. 차량의 속도는 시속 60km로 설정하여, 16.67(m/sec)로 발생시켰다. 실험에서는 남북 직진, 좌회전, 동서직진, 좌회전의 4현시를 사용하였다. 이때



(그림 2) 시뮬레이션에 사용된 복수 교차로망  
(Fig. 2) The multiple traffic junction network used in the simulation

남북 및 동서방향의 직진 및 우회전 신호는 각각 20초, 좌회전 신호는 6초, 녹색 신호가 끝난 후 황색 신호로 바뀌었을 때 정지선에 이미 진입하여 멈출 수 없는 차량을 위한 황색 신호로 2초를 주어서 신호등의 한 주기는  $2 \cdot (20초+2초+6초+2초)=60초$ 를 기본 주기로 사용하였다. 시뮬레이션에 사용된 퍼지 제어기는 좌회전은 고려하지 않으므로 직진 및 우회전 신호의 기본 현시 20초 후 신호를 연장할 것인지를 계산하는 것이다. 녹색 현시의 확장은 대기 차량들을 고려하여 최대 30초까지 허용하므로, 녹색 신호의 주기는 최대 50초까지 가능하다.

4.2 시뮬레이션 결과

교통 제어기의 성능을 평가하는 데에는 지체시간(delay)이 주로 사용된다[2][3]. 지체시간은 차량들의 대기시간의 총합을 진입한 차량수와 빠져나간 차량수로 나눈 값이다. 또한 본 논문에서는 Jamshidi 등이 사용한 방법과 비슷하게 비용함수(cost function)를 사용하였다[5]. 비용함수는 교통망에 진입한 총 차량대수( $cars_{enter}$ )와 교차로를 빠져나간 총 차량대수( $cars_{exit}$ ), 교차로의 감지기를 통과한 차량이 교차로를 빠져나가는 동안 이동한 시간( $time_{drive}$ )과 정지한 시간( $time_{wait}$ )

을 기준으로 식 (3)과 같이 정의하였다. 따라서 지체시간과 비용함수는 낮을수록 좋은 제어기가 된다.

$$비용함수 = 100 \times \frac{time_{wait} / time_{drive}}{cars_{exit} / cars_{enter}} \quad (3)$$

본 논문에서는 기존의 고정시간 제어기와 Gomide의 FLC를 제안하는 교통망 FLC와 지체시간과 비용함수 면에서 비교하는 실험을 수행하였다. 실험 방법은 남북(SN) 방향을 주도로로, 동서(EW) 방향을 부도로로 설정하고, 각 방향의 교통량을 변화시키면서 제어기 성능을 평가하였다. 모든 방법들은 16개의 교차로망에서 30분씩 표 1에 나타난 교통량 조합에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1내 숫자는 각 방향별 초당 차량 발생 대수(cars/sec)를 나타낸다.

<표 1> 실험에 사용된 교통량 조합들  
<Table 1> Sets of traffic volumes used in the simulation

방향 조합	북 (North)	남 (South)	동 (East)	서 (West)
경우 1	5	5	5	5
경우 2	10	10	5	5
경우 3	15	15	5	5
경우 4	15	15	10	10

제안된 방법과 고정시간 제어를 표 1의 교통량 조합들에 대하여 지체시간과 비용함수 면에서 비교한 결과를 표 2에 나타낸다. 표 2(a)는 30분간의 지체시간을 평균한 결과를 나타낸다. 표 2(a)의 결과는 제안된 방법의 지체시간이 평균적으로 약 50% 줄어듦을 보여준다. 표 2(b)는 두 방법의 비용함수의 평균을 비교한 것이다. 표 2(b)에서 알 수 있듯이 네 방향의 교통량비가 커지면 제안된 방법의 비용함수가 훨씬 작아짐을 알 수 있다. 표 2의 결과로부터 제안된 방법은 고정시간 제어와 비교하여 평균적으로 지체시간은 50.2%, 비용함수는 21% 개선되었다. 또한 제안된 방법은 교통량이 많아질수록 성능이 증가하는 바람직한 특성을 갖는다.

〈표 2〉 제안된 방법을 고정시간 제어와 비교  
 〈Table 2〉 The comparison of the proposed method and the pretimed controller

지체시간 (초)	고정시간 제어	제안된 방법	개선도(%)
경우 1	21.0	11.2	46.7
경우 2	21.7	11.6	46.5
경우 3	21.6	10.0	53.7
경우 4	21.7	10.0	53.9

(a) 평균 지체시간

비용함수	고정시간 제어	제안된 방법	개선도 (%)
경우 1	82.6	68.7	16.8
경우 2	90.9	78.5	13.6
경우 3	95.6	67.7	29.2
경우 4	87.4	66.1	24.2

(b) 평균 비용함수

제안된 방법과 Gomide의 FLC를 표 1의 교통량 조합들에 대하여 지체시간과 비용함수 면에서 비교한 결과를 표 3에 나타낸다. 표 3(a)는 30분간의 지체시간의 평균을 나타낸 것이다. 표 3(a)의 결과는 교통량이 5로서 비교적 작을 때는 Gomide의 FLC와 별 차이가 없지만, 교통량이 증가하면 제안된 방법의 지체시간이 평균적으로 16.7% 줄어듦을 보여준다. 표 3(b)는 두 방법의 비용함수의 평균을 비교한 것이다. 표 3(b)에서 알 수 있듯이 네 방향의 교통량이 비교적 작을 때는 두 방법은 거의 비슷하지만, 교통량이 많아지면 제안된 방법의 비용함수가 훨씬 줄어든다. 표 3의 결과로

부터 제안된 방법은 Gomide의 FLC와 비교하여 평균적으로 지체시간은 12.6%, 비용함수는 12.5% 개선되었다.

〈표 3〉 제안된 방법을 Gomide의 FLC와 비교  
 〈Table 3〉 The comparison of the proposed method and the Gomide's FLC

지체시간 (초)	Gomide	제안된 방법	개선도(%)
경우 1	11.9	11.9	0
경우 2	11.9	10.3	13.4
경우 3	11.9	9.6	19.3
경우 4	12.0	9.9	17.5

(a) 평균 지체시간

비용함수	Gomide	제안된 방법	개선도(%)
경우 1	73.2	72.7	0.7
경우 2	82.7	70.9	14.3
경우 3	85.6	69.1	19.3
경우 4	79.9	67.5	15.5

(b) 평균 비용함수

이상의 실험 결과들을 종합해 보면, 제안된 방법은 교통량이 증가함에 따라 고정시간 제어나 Gomide의 퍼지 제어기에 비하여 지체시간과 비용함수 면에서 모두 우월한 성능을 보여줌을 확인할 수 있다. 이로부터 우리는 제안된 퍼지 교통망 제어기가 실제의 교통 상황처럼 복잡한 구조를 갖는 복수 교차로망 제어에 유용함을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 주도로와 부도로의 교통량이 상이한 사방으로 연결된 복수 교차로망을 제어하기 위한 퍼지 교통망 제어기를 개발하였다. 기존의 퍼지 제어기들이 사용하는 진입차량수와 대기차량수외에 교통량이라는 요소를 FLC에 도입하여, 이 값에 따라 3군으로 제어 규칙을 나누고 확장시간을 결정하는 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 퍼지 교통망 제어기는 교통량이 많으면서 다양한 교통 패턴을 갖는 교차로망을 대상으로 실험함으로써 실제 이용 가능성을 높였다. 실험 결과로부터 교통량이 많아질수록 차량당 지체시간은 감소하고 차량 통과대수는 증가하게 되어 논문에서 제안한 비용함수도 낮아진다. 결과적으로 교차로망의 신호 이

용률도 향상됨을 확인하였다. 특히 교차로 성능 평가 시 가장 중요한 척도인 지체시간 면에서 교통량이 증가할수록 제안된 방법은 우수한 성능을 보여주었다. 이는 제안된 방법이 실제의 교차로처럼 교통량 분포가 변하는 환경에 적합함을 입증하여 준다. 또한 객체지향 개념의 교통망 제어기를 개발하여 저가 IBM PC의 Windows 95상에서 구현하여 교통공학 종사자들이 쉽게 실제 도로상의 교차로를 제어할 수 있는 실험 환경을 구축했다는 의의도 가지고 있다.

향후에는 유전자 알고리즘과 결합하여 여러 가지 퍼지 변수에 대한 소속 함수 및 퍼지 제어 규칙을 자동으로 유도하는 방법의 연구가 필요하고, 실제 교차로망의 신호등 제어에 활용할 수 있도록 성능을 보다 더 향상시키려고 한다.

### 참 고 문 헌

[1] 교통개발연구원, 서울시 교통신호 제어시스템 시뮬레이터 개발보고서(3차년도), 1993.

[2] 도철웅, 교통공학원론, 청문각, 서울, 1995.

[3] Pappis, C.P. and Mamdani, E.H., "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-7, No.10, Oct., pp.707-717, 1977.

[4] Favilla, J., Machion, A., and Gomide, F., "Fuzzy Traffic Control: Adaptive Strategies," Proc. of 2nd IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems, pp.506-511, 1993.

[5] Jamshidi, M., Kelsey, R., and Bisset, K., "Traffic Fuzzy Control: Software and Hardware Implementations," Proc. of the Fifth IFSA World Congress, pp.907-910, 1993.

[6] 김혜정, 김도년, 조동섭, "교통량 예측기법과 퍼지 논리를 이용한 교통 신호 제어 시스템", 한국 정보과학회 추계학술대회 발표논문, pp.347-350, 1995.

[7] 이지형, 그룹 교차로를 위한 퍼지 신호기의 설계 및 구현, 한국과학기술원 석사학위논문, 1995.

[8] 홍유식, 박종국, "신경망 및 퍼지규칙을 이용한 최적 교통신호주기 알고리즘", 대한전자공학회는문지. 제34권, C편, 제8호, pp.88-101, 8월, 1997.

[9] 이광형, 오길록, 퍼지이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 서울, 1991.

[10] Petzold, C., Programming Windows 95, Microsoft Press, 1996.

[11] 김종완, "다양한 교통량에 적용하는 교통 신호 제어용 퍼지 논리 제어기", 정보과학회논문지(B), 제24권, 제9호, pp.976-985, 1997.



### 김 종 완

jwkim@biho.taegu.ac.kr

1987년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)

1989년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

1994년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1991년~1995년 서울대학교 연구처 연구조교

1995년~현재 대구대학교 컴퓨터정보공학부 조교수

관심분야 : 지능정보시스템, 신경회로망, 퍼지시스템, 인공지능.



### 한 병 준

bjhan@comeng.ce.kyungPook.ac.kr

1998년 대구대학교 전자계산학과 졸업(학사)

1998년~현재 경북대학교 대학원 컴퓨터공학과 재학중

관심분야 : 시뮬레이션, 알고리즘, 퍼지교통제어.