

퍼지 제어를 적용한 교차로에서의 최적 교통 신호 시스템

이 영 신[†] · 이 윤 배^{††}

요 약

교차로에서 통행 패턴의 지속적인 변화와 교통량의 증가 때문에, 매시간 변화에 따라 교차로를 유연성있게 관리할 수 있는 효율적인 교통 제어 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 교차로를 구성하는 각 도로의 복잡성을 자율적으로 분석하여 그 결과에 따라 교차로를 통과할 수 있는 시간을 결정하는 제어 시스템에 관해 연구 하였다. 교통신호 제어를 위해 퍼지 논리 제어기에 퍼지 제어 개념을 적용하였으며, 퍼지 논리 제어기의 최적 수행을 증명하기 위해서 규칙 신호 시스템과 퍼지 신호 시스템을 비교하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 증명하였다. 시뮬레이션 결과 교통 제어의 효율성이 6% 정도 향상되었다.

An Optimal Traffic Signal System of Cross-roads Applying Fuzzy Control

Shin Young Lee[†] · Yun Bae Lee^{††}

ABSTRACT

Due to continuous change in traffic patterns and increase in traffic volumes at the intersection, efficient traffic control system is required to manage road situations flexibly in accordance with the change occurring every hour. In this paper, we study the control systems which will help us to determine the intervals of intersection following the autonomous analysis of complexity of the road.

Fuzzy logic control concept was applied to the fuzzy logic controller(FLC) for controlling traffic signal. Furthermore the fuzzy signal systems were compare with the regular signal systems to prove higher performane of the FLC presented in the paper.

By means of simulation, the validity of FLC was proven. About 6% increase in the efficiency of traffic control based on the proposed algorithm in this paper was shown when we use the simulation.

1. 서 론

급속한 경제 성장과 생활 수준의 향상으로 자동차의 증가는 날로 날로 가속화되어 가고 있는 반면에, 턱

없이 부족한 도로 확보율로 인해 교통 혼잡은 나날이 가중되어 가고 있는 것이 현실이다.

이와 같이 심각한 교통 혼잡 문제를 해결하기 위해서 지난 수십 년 간 다각적인 해결 방법과 모형이 연구되어 왔다. 그 중에서도 특히 대표적인 연구 모형으로 신호 교차로 제어 모형을 들 수 있는데 이 모형은 교통 공학, 컴퓨터 공학 및 통신 기술의 발달과 더불어 지속적으로 개선되어 왔다. 그런데, 현재의 교통

※본 연구는 조선대학교 '94 교비 지원에 의해 수행되었음.

† 준 회 원: 도로교통안전협회 전남지부

†† 정 회 원: 조선대학교 전자계산학과 부교수

논문접수: 1996년 3월 20일, 심사완료: 1996년 9월 23일

신호 시스템은 중앙의 컴퓨터, 현장의 지역 제어기, 검지기 그리고 각각을 연결해 주는 통신부로 나누어져 있는데, 우리 나라에 설치 운영 중인 시스템은 신호 시간 계획을 사전에 입력해 두고 교통 상황에 따라 자동 선택되게 하거나, 일일 시간대에 따라 일정한 시간 계획이 선택되도록 되어 있다. 따라서 사전에 입력하는 신호 시간 데이터는 교통 상황 변화에 따른 현장조사, 교통 현황 분석, 신호 시간 계획, 신호 시간 데이터 수정, 평가 등의 일련의 순환 과정을 통해 관리되고 있는데, 현행 교통 신호 시스템은 시스템의 설치나 확장에 치우쳐, 시스템 설치 이후의 운영이나 사후 관리에 대한 배려는 미흡하며, 교통 상황 변화에 적절히 대처하지 못하고 있다[7].

교통 혼잡 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 문제 지점의 과포화 현상을 실시간적으로 대응할 수 있도록 통과 차량 수, 대기 차량 수, 보행자 수, 기상 등의 여러 가지 문제점을 종합하여 가장 적절한 신호 주기를 결정해야 한다. 1977년 Mandani는 FLC(fuzzy logic controller)를 이용하여 일방 도로에 있는 단일 교차로를 제어함으로써, 신호 주기에 유연성을 제공하는 결과를 보여주었다.

그러나, Mandani의 연구는 오늘날과 같이 복잡한 도로 상황에는 적용되기 어려운 점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 교통류의 변화에 유연하게 대응하고, 다양한 혼잡 상황을 실시간적으로 처리할 수 있도록 교통 신호 제어 체계에 퍼지 제어(fuzzy control)를 적용한다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 교차로를 구성하는 각 도로의 복잡도를 분석하여 그 결과에 의해 교차로를 통과할 수 있는 시간을 결정하고, 최적 신호 주기는 포화 교통량, 각 현시에서의 최대 교통량, 손실 시간 등의 요소를 우선적으로 고려하도록 하였다. 또한, 도로 상황 분석을 위해 퍼지 연산을 통해 두 가지 요소 즉, 적색 신호에 의한 대기 시간과 도로에 정체된 대기 차량 수에 대한 도로의 복잡도를 효율적으로 나타내도록 하였다. 교통 신호 제어에 제안된 방법을 응용함으로써 교차로의 교통 상황을 정확하게 분석할 수 있으며, 기존의 신호 제어를 위해 필요한 방대한 시스템을 효과적으로 축소시킬 수 있다.

2. 현행교통신호체계

2.1 교통 제어 시스템

교차로에서의 신호 운영체제는 매우 복잡하고 다양한 형태로 운영되고 있으나 신호 시간(신호 주기, 신호 현시)의 가변성에 따라 다음과 같이 구분된다[6][8].

(1)수동 제어(Manual Mode):교통 현상에 대하여 운영자가 직접 개입하여 특정 교차로의 신호 시간을 선택, 변경 제어하는 방식이다.

(2)시간대 별 제어(Time of Day):일정 기간의 월, 일, 시간대 별 평균 차량 수 데이터를 미리 표에 입력한 다음 입력 차량수의 데이터를 누적하여 해당 월, 일, 시간대별 주기를 찾아 제어하는 방식이다.

(3)교통 대응 제어(Traffic Responsive Mode):제어 대상 도로의 상행선과 하행선의 유출부 또는 유입부에 매설된 검지기 그룹으로부터 수집되는 교통량과 점유율의 합을 기준으로 계획된 신호 시간 패턴을 자동으로 선택하도록 하는 방식이다.

(4)감응식 제어(Actruated Control):신호 현시의 길이를 교통수요에 맞추어 부여하는 제어 방식으로 각 접근로에 대한 녹색 신호 시간이 차량 검지기에서 검지된 교통량에 따라 입력된 최소 시간과 최대 시간 값 사이에서 변화될 수 있다.

2.2 신호시간 결정 방법

교차로에서의 교통수요를 결정하고 이에 따른 신호주기, 현시, 현시수, 오프셋 등의 신호등 시간을 결정하는 것을 신호 시간 계획(traffic signal timing plan)이라 한다. 신호시간 계획에는 여러 가지 기본적인 이론이 있는데 이들은 크게 분류하면 다음과 같이 네 가지 요소로 구성되어 있다[10].

(1)현시 및 현시 간 전이 시간:현시(phase)란 신호등 교차로에서 이동류의 흐름을 허용하는 시간을 의미하며 현시와 현시 사이에는 통행이 허용되었던 이동류에 대해 그 통행을 금지하기 이전에 어느 정도의 시간 여유를 부여하여 운전자로 하여금 교차로 정지선에 정지하도록 하는 시간을 확보하게 되는데 이를 현시 간 전이 시간(phase change interval)이라고 한다.

(2)신호 시간 계획의 수:신호등 교차로의 효율적인 운영을 위한 신호 시간 계획의 수는 교통류 특성과 신호등 간의 설치 간격에 주로 의존한다. 예로써 한 신호등,교차로가 2개의 현시로 운영되는 경우 아침에는 현시 A가 거의 포화상태에 이르고 저녁에는 현시

B가 거의 포화 상태에 이르며 그 외의 시간에는 모든 현시에 대해 교통량이 균등하게 분포된다면, 이 교차로의 신호 시간 계획은 3개로 운영하는 것이 바람직하다.

(3)보행자 통행 시간:신호등 교차로에서 보행자의 횡단은 다음 세 가지 방법에 의해 이루어진다.

- ① 차량 통행과 같은 방향으로 동시에 횡단하는 방법
- ② 차량 통행과 같은 방향으로 동시에 독립적인 보행자 신호에 따라 횡단하는 방법.
- ③ 모든 차량 통행이 금지된 상태에서 보행자들만 횡단하는 방법.

(4)분할비의 결정:분할비(split)란 각 현시가 신호 주기에서 차지하는 비율을 의미하며 보통 %로 표시한다[10]. 신호 시간 계획과 최적의 주기를 할당하기 위해서는 분할비를 꼭 파악하여야 한다.

2.3 현행 신호 현시별 주기 방식

신호 시간 조절계획의 주된 목적은 교차로와 도로 구간 내에서의 지체와 혼잡을 최소화하며 모든 도로 이용자의 안전을 도모하기 위한 것이다. 교통 신호가 실제 교통의 요구 사항을 최대한 만족시킬 때 비로서 효율을 갖으며 현 시별 유효 녹색 등의 주기 시간은 식 (2.1), (2.2)와 같이 웹스터 방식 및 그린셴드 방식에 의해 구한다[6].

$$Copt(w) = \frac{1.5L + 5.0}{1 - \sum_{k=0}^n Y_i} \quad (2.1)$$

Copt(W): 웹스터 방식의 최적 주기, n: 현시의 수, L: 손실 시간

$$Copt(G) = \frac{Y1 + Y2 + Y3 + Y4 + 4(2.6)}{1 - \frac{1.6(N1 + N2) + 1.7(N3 + N4)}{36000PHF}} \quad (2.2)$$

Copt(G): 그린 셴드 방식의 최적 주기
 Y1, Y2, Y3, Y4: 각 차선별 황색 시간,
 N1, N2, N3, N4: 각 차선별 녹색 시간

2.4 고정 시간 신호 통제

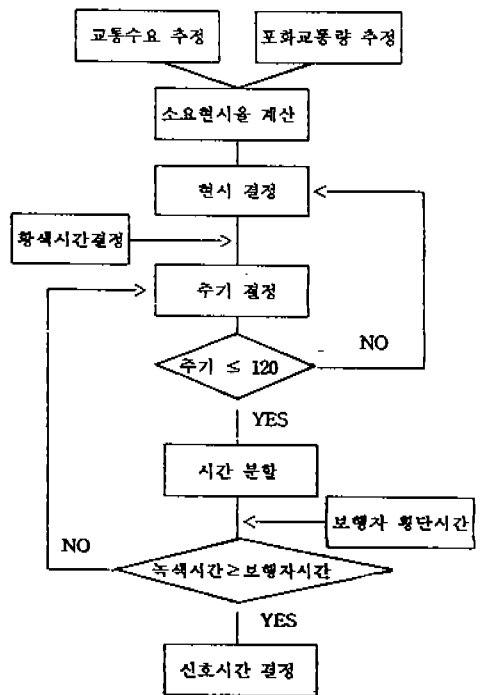
(1)교통 수요 추정:신호기의 신설, 개선 또는 현재

의 신호 시간을 검토하기 위해서는 그 교차로의 교통량을 알아야 한다. 교통량의 측정은 주중 특정 일의 12시간을 관측하는 것이 바람직하다.

(2)포화 교통량 추정:교차로 접근로에서 각 방향별 이동류의 포화 교통량은 최소 방출 차두 시간(minimum departure headway)을 구하여 계산한다. 한 차선에서 대기하는 차량들이 녹색 신호가 켜지면 정지선을 떠나 교차로에 진입하게 되는데 이때 처음 몇 대는 초기 출발 지연을 나타내나, 그 다음부터는 거의 일정한 차두 시간을 보인다. 이를 최소 방출 차두 시간이라 한다.

(3)소요 현시율 계산:소요 현시율은 설계 시간 동안의 실제 도착 교통량을 포화 교통량으로 나눈 값이다. 이와 같은 값들을 각 이동류에 대한 교통량비(flow ratio)라 한다.

(4)현시의 결정:신호 교차로를 효율적으로 운영하기 위한 현시의 수는 접근로의 수와 교차로 형태 뿐



(그림 1) 신호 시간 계산 과정도
 (Fig. 1) The processing diagram of calculation of signal time

만 아니라 교통류의 방향과 교통 구성에 따라 결정된다. 가장 기본적인 현시는 두 개로써, 두 도로에 교대로 통행 우선권을 부여하는 것이다. 현시의 수가 많아지면, 주기가 길어져 지체가 커지고 황색시간으로 인한 소거 손실 시간(clearance lost time)이 많아지므로 바람직하지 않다.

(5) 황색 시간 결정: 황색 시간이 너무 길면 운전자는 이중의 일부분을 녹색 신호 시간처럼 사용할 우려가 있어 본래의 목적을 상실하며, 또 너무 짧으면 위험하다. 특히, 추돌 사고를 증가시킨다.

(6) 주기의 결정: 일반적으로 짧은 주기는 정지해 있는 차량의 지체를 줄여주므로 더 좋다고 할 수 있으나, 교통량이 커질수록 주기는 길어져야 한다. 따라서 주기는 교통량에 따라 적정주기가 결정이 되며 보통 120초 이상의 주기는 잘 사용하지 않는다.

(7) 주기의 분할: 주기의 시간 분할(split)은 각 현시의 주 이동류 교통량이나 주 차선 교통량에 비례해서 분할해서는 안되며, 주기내에서의 각 현시당 녹색 시간은 주 차선의 현시율에 비례해서 할당해야 한다[4][8].

(그림 1)은 독립 교차로의 교정 신호 시간 계산과정을 나타낸 것이다.

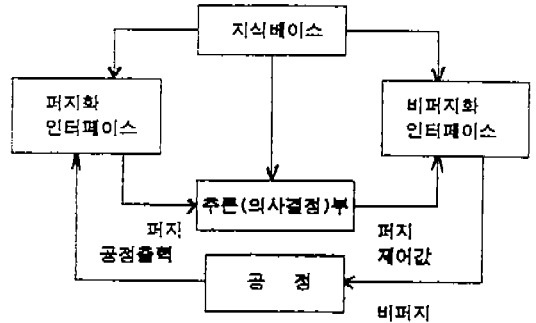
3. 교통신호제어를 위한 퍼지 논리 제어

3.1 퍼지집합의 표현

퍼지논리 제어기(FLC)는 기존의 제어 이론에 퍼지 집합이론과 언어적 제어의 규칙 베이스를 첨가하여 요구되는 성능을 만족하도록 구성된 피드백(feed back) 제어시스템이다. 대표적인 퍼지 제어기의 기본 구성도는 (그림 2)와 같다[12].

퍼지화 인터페이스는 입력 변수들의 값에 대응되는 전체 집합으로 사상하는 기능(scale mapping function)과 입력 자료를 적당한 언어 변수 값으로 사상하는 퍼지화 기능을 수행한다. 지식베이스는 전문가의 경험 등을 "IF-THEN"형의 문장으로 구성되고 의사 결정 논리의 FLC의 핵심부로 인간의 의사 결정 과정과 유사한 기능을 갖는다. 비퍼지화 인터페이스는 출력 변수들의 값을 대응되는 전체 집합으로 사상하는 기능과 추론 결과로부터 제어 행동을 유도하는 비퍼지화 기능을 수행한다[2][5][17].

3.2 퍼지 논리 제어기



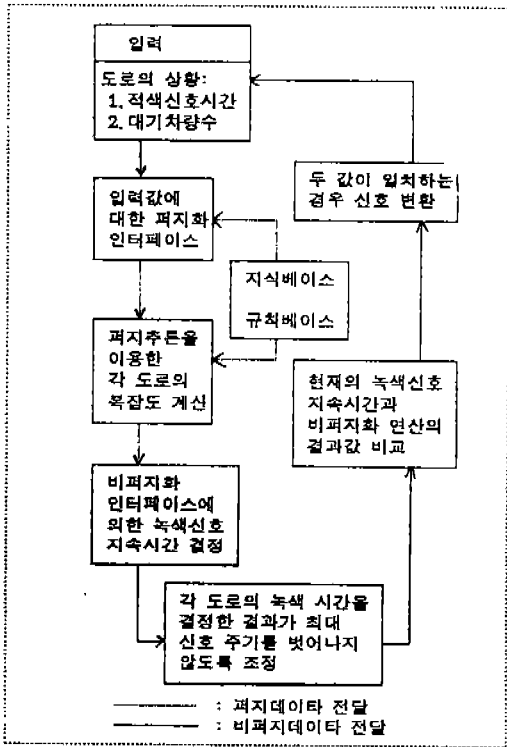
(그림 2) 퍼지 제어기의 구성도
(Fig. 2) The configuration of FLC

퍼지 제어의 첫째 단계는 퍼지화 작업이다. 퍼지화란 하나의 명확한 값으로 측정된 입력 변수의 값을 적절한 퍼지 값으로 변경시키는 것으로, 이 단계에서는 제어 입력 변수의 값을 측정하여 입력 변수 값에 상응하는 전체 집합으로 크기를 변환한 후 퍼지화에 의해 적절한 언어적 값으로 변환시킨다.

두 번째 단계는 의사 결정 단계이다. 이 단계는 퍼지 논리 제어의 실행부로서 퍼지 관계와 퍼지 논리의 추론 규칙을 도입하여 퍼지 제어 입력 값을 결정짓는 단계로서 인간의 의사 결정 방식을 모방하고 있다. 즉, 지식베이스의 규칙을 이용하여 퍼지 입력에 대해 퍼지 출력을 추론하는 단계로 퍼지 논리와 근사 추론 개념이 바탕이 된다. 지식베이스(Knowledge Base)는 크게 데이터베이스와 언어적 제어 규칙부로 나뉘어진다. 특히, 이 부분에서는 계산 효율면과 제어기 개발 측면에서 입력 변수의 전체 집합을 이산화하고 용이한 퍼지 논리 적용과 독립적인 제어 규칙을 설계할 수 있도록 크기 변환을 행함으로써 수치 문제를 간결히 할 수 있다.

세 번째는 비퍼지화 단계이다. 이 단계는 의사 결정 단계에서 결정된 퍼지값을 실제 입력 변수의 값에 맞는 명확한 값으로 변환하는 과정이다. 본 논문에서는 적색 신호 시간과 대기 차량수를 입력값으로 받아들이고, 입력값을 퍼지화 시키고, 지식 베이스와 규칙베이스에 의거 각 도로의 복잡도를 계산하고 비퍼지화에 의한 녹색 신호 지속 시간을 결정하고 그 결과 값이

최대 신호 주기를 벗어나지 않도록 조정하며, (그림 2)가 퍼지 제어기의 기본적인 구성인데 비하여 (그림 3)은 현재의 녹색 신호 지속 시간과 비퍼지화 연산의 결과 값을 비교하여 두값이 일치하는 경우 신호를 변환토록하는 반복과정을 수행 토록하였다[1][13]. (그림 3)은 교통 신호를 위한 퍼지 제어를 나타낸다.



(그림 3) 교통신호를 위한 퍼지 제어기
(Fig. 3) The FLC for traffic signal

3.3 퍼지화 단계

(1) 입출력 변수 정의

교통신호기 제어를 위한 퍼지추론은 다음과 같이 다중 입력, 단일 출력 방식을 선택한다[14][15].

a. 입력 변수

NUMBER: 도로상에 정체된 차량의 수

TIME_RED: 적색 신호 대기시간

b. 출력변수

TIME_GREEN: 각 도로의 녹색 신호 지속시간

(2) 입력 값의 퍼지화

퍼지화란 하나의 명확한 값으로 측정된 입력 변수의 값을 적절한 퍼지 값으로 변경시키는 것으로, 이 단계에서는 제어 입력 변수의 값을 측정하여 입력변수 값에 상응하는 전체 집합으로 크기변환한 후 퍼지화에 의해 적절한 언어적 값으로 변환시킨다.

a. 퍼지 변수 NUMBER의 퍼지화 및 언어적 의미

퍼지 변수 number의 퍼지화 및 언어적 의미는 다음과 같고 대기 차량의 소속 함수는 (그림 4)와 같다.

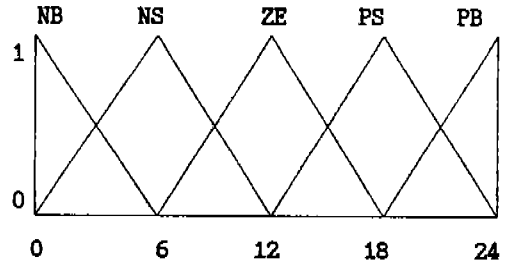
NB: 대기 차량수가 아주 적다.

NS: 대기 차량수가 적다.

ZE: 대기 차량수가 중간이다.

PS: 대기 차량수가 많다.

PB: 대기 차량수가 아주 많다.



(그림 4) 대기 차량의 소속 함수

(Fig. 4) The membership function of waited vehicles

b. 퍼지변수 TIME_RED의 퍼지화 및 언어적 의미

퍼지 변수 TIME_RED의 퍼지화 및 언어적 의미는 다음과 같고 적색 신호 소속 함수는 (그림 5)와 같다.

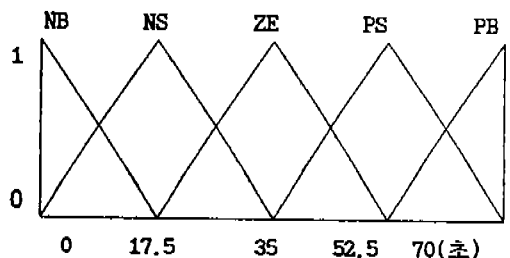
NB: 적색신호 대기 시간이 아주 짧다.

NS: 적색신호 대기 시간이 짧다.

ZE: 적색신호 대기 시간이 중간이다.

PS: 적색신호 대기 시간이 길다.

PB: 적색신호 대기 시간이 아주 길다.



(그림 5) 적색 신호 멤버쉽 함수

(Fig. 5) The membership function of red signal

(3) 퍼지 추론

명제를 퍼지 관계로 표현하면, 이것을 근사 추론(approximate reasoning)에 이용할 수 있다. 퍼지 언어 변수를 사용한 전제(premise)와 암시(implication)(또는 규칙(rule))의 조건부(antecedent)가 주어졌을 때 Zadeh의 추론의 복합규칙(compositional rule of inference)을 이용해 결론을 추론할 수 있다. 전제와 암시를 퍼지 집합을 이용하여 표현하면 다음과 같다.

premise: x is A' : $R(x)$
 implication: IF x is A then y is B . : $Q(x, y)$

conclusion: y is B' : $Q(y)$

그리고, 퍼지관계 $R(x)$ 와 $Q(x, y)$ 로 표현하고자 할 경우 전제를 나타내는 관계 $R(x)$ 와 암시를 나타내는 관계 $Q(x, y)$ 를 max-min 합성(composition)을 하면 결론에 해당하는 관계 $R(y)$ 를 얻을 수 있다.

$$R(y) = R(x, y) \circ R(x) = \max \min \{(\mu \sim(x), \mu \sim(x, y))\}$$

즉, 이것은 보통의 추론에서 사실(fact)이 주어지고 규칙(rule)이 주어졌을 때 결론을 도출해 내는 연역 추론 과정과 같다. 그러나, 여기에는 사실과 규칙이 퍼지 관계로 주어졌기 때문에 퍼지 연산을 하여야 한다[11][12][16].

본 논문에서 사용되는 퍼지 함수 값은 0과 1 값의 범위 내의 2개의 값을 항상 갖게 된다. 이러한 값은 비퍼지화 단계에서는 2개의 값이 아닌 하나의 값을 갖는 일반적인 값이 되어야 하는데, 제어분야에서는 이러한 값을 단일화 시키는 방법으로 최대 최소법을 이용하며, 도로의 복잡도를 산정하기 위한 추론 방법은 다음 식 (3.1)과 같다.

$$\mu_{COMPLEXITY}(ROAD_1) = \max(\min(\mu_{NUMBER}(ROAD_1), \mu_{TIME_RED}(ROAD_1))) \quad (3.1)$$

퍼지 추론에 사용된 복잡도 산정 규칙은 (표 1)과 같다. 이 규칙은 현재 나타난 도로의 상황에 대한 인식을 보다 정확하게 하기 위한 것이다. 즉, 어떤 두 도로에 정제된 차량의 수가 같다고 하더라도 적색 신호

에 의한 대기 시간이 서로 다르다면 두 도로의 복잡도가 같다고 말할 수 없음을 보여주고 있다.

〈표 1〉 복잡도 산정 규칙
 (Table 1) The rule of calculation for complexity

NUMBER TIME_RED	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	PS	PB	PB	PB
NS	NS	ZE	PS	PB	PB
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NB	NB	NS	ZE	PS
PB	NB	NB	NB	NS	ZE

(4) 비퍼지화

퍼지 제어의 퍼지 추론 결과는 제어 입력 전체 집합에 정의된 퍼지 집합으로 출력된다.

제어에서는 퍼지 집합을 플랜트의 조작량으로서 출력하면 플랜트를 움직이게 할 수 없다. 만약 퍼지 제어기와 플랜트 사이에 인간이 개입한다면 예를 들어, “조작량을 크게하시오”라는 것과 같이 애매한 지시를 내리면 인간은 그 의미를 이해하고, 어떤 수치로 변환하여 조작량을 결정할 것이다. 이와 같이 출력부 전체 집합에서 정의된 퍼지 제어 조작량을 명확한 비퍼지 제어 조작량으로 변환시켜주는 작업을 비퍼지화 또는 일점화라한다. 이 과정을 식으로 표현하면 다음식 (3.2)와 같다[9].

$$U_o = defuzzifier(U) \quad (3.2)$$

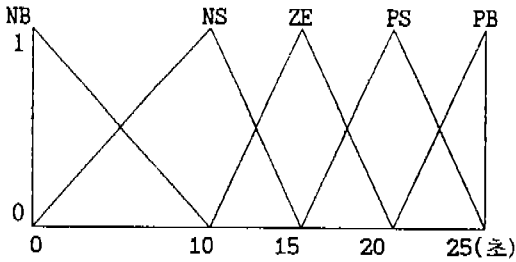
U_o : 제어 입력이 되는 비퍼지값

U : 퍼지 추론의 퍼지 결과

비퍼지화 방법은 여러 가지가 있으나, 본 논문에서 사용한 무게 중심법은 다음과 같다[11][12].

무게중심법(Center of Area Method)은 제어 값의 가능성 분포에 대한 중량의 중심을 산출하는 방법으로 식은 (3.3)과 같다.

$$U_o = \frac{\sum_{j=1}^k \mu(U_j) U_j}{\sum_{j=1}^R \mu(U_j)} \quad (3.3)$$



(그림 6) 비퍼지화를 위한 소속 함수

(Fig. 6) The membership function for defuzzification

무게 중심법을 이용한 비퍼지화는 다른 방법에 비해 연산 횟수가 많아 시간은 조금 더 많이 소요되는 반면에 연산 값이 정확하기 때문에 많이 사용되고 있다.

이 방법은 상기 식 (3.3)에 나타낸 바와 같이 합성된 출력부의 무게 중심을 구하여 그에 해당하는 값을 제어 입력값으로 사용하는 방법이며 비퍼지화를 위한 소속 함수 그래프는 (그림 6)과 같다.

퍼지 제어시, 신호 주기는 각 도로의 상황을 고려하여 유동적으로 결정되는데, 각각의 현시 지속 시간은 보행자의 통행 등의 요소를 고려하여 최소 10초로 결정하였다. 또한 이 방법은 도로가 복잡한 상황에서 신호 주기가 너무 길어 질 수 있는데, 이것은 다른 도로의 상황을 고려하지 않아서 오히려 도로의 정체를 증가시킬 수 있으므로 신호 주기를 최대 80초를 초과하지 않도록 하였다. 즉, 최고 80초, 최저 52초로 하였고, 4개의 도로의 녹색 시간의 합이 68초를 초과하는 경우는 다음 교통 신호 주기 알고리즘에 의해 제어된다.

[교통신호 주기 제어 알고리즘]

```
do {
for(i=0; i<=3; i++)
TIME_GREN += TIME_GREN[i];
error = (68-TIME_GREN)/4;
if(error > 0)
for(i=0; i<=3; i++)
{
TIME_GREN[i] -= error
if(TIME_GREN[i] < 10)
TIME_GREN[i] = 10;
}
```

```
} while(error > 0)
```

(5) 신호 결정을 위한 퍼지 연산의 예

도로 1에서 녹색신호를 받고 있는 어떤 시간 Tn에 측정된 각 도로의 상황이 <표 2>와 같을 때 신호 시간 결정 과정은 다음과 같다.

<표 2> 임의의 시간 Tn에서 측정된 각 도로의 상황
<Table 2> The each road situations in optional time : Tn

도로	입력값	적색신호 지속시간	대기차량수
ROAD_0의 경우		15 초	11 대
ROAD_1의 경우		0 초	4 대
ROAD_2의 경우		60 초	18 대
ROAD_3의 경우		37 초	14 대

a. 퍼지화 인터페이스에 의한 결과

대기 차량의 소속 함수와 적색 신호 소속 함수에 의해 <표 2>를 퍼지화하면 <표 3>, <표 4>와 같다.

<표 3> 대기 차량수의 퍼지화
<Table 3> The fuzzification of waited vehicles number

도로	입력값	대기 차량 수				
		NB	NS	ZE	PS	PB
ROAD_0		0	0.1	0.9	0	0
ROAD_1		0.35	0.65	0	0	0
ROAD_2		0	0	0	1	0
ROAD_3		0	0	0.6	0.4	0

<표 4> 적색 신호 시간의 퍼지화
<Table 4> The fuzzification of red signal time

도로	입력값	적색 신호 지속 시간				
		NB	NS	ZE	PS	PB
ROAD_0		0.15	0.85	0	0	0
ROAD_1		1	0	0	0	0
ROAD_2		0	0	0	0.62	0.38
ROAD_3		0	0	0.9	0.1	0

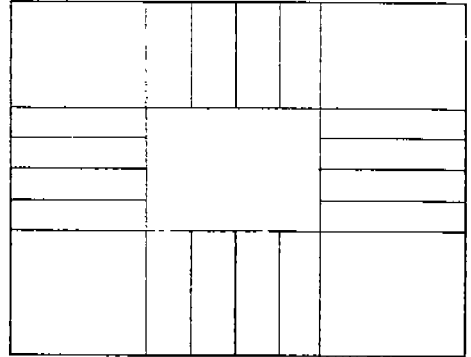
b. 퍼지 연산에 의한 복잡도 계산 결과

<표 2>를 최대 최소 방법으로 추론하면 <표 5>와

같다.

〈표 5〉 〈표 2〉의 도로 상황을 추론한 결과값
 〈Table 5〉 The result values of inferred road situations

도로	입력값	도로의 복잡도				
		NB	NS	ZE	PS	PB
ROAD_0		0	0	0.1	0.85	0.15
ROAD_1		0	0	0.35	0.65	0
ROAD_2		0	0.38	0.62	0	0
ROAD_3		0.1	0.6	0.4	0	0

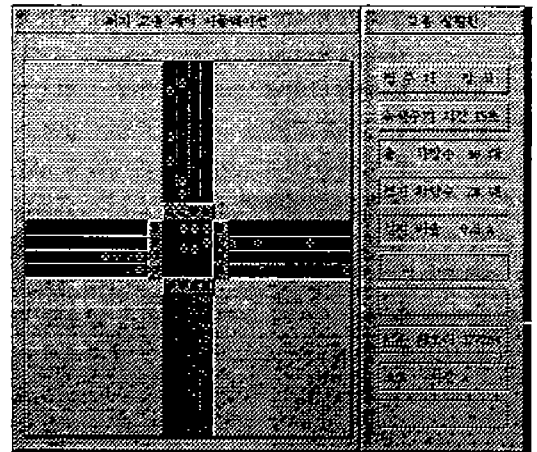


(그림 7) 도로의 상황도
 (Fig. 7) The diagram of road situations

c. 비퍼지화에 의한 신호 시간
 (식 3.3)에 의해 조정된 시간은 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉 비퍼지화에 의해 조정된 신호 시간
 〈Table 6〉 The signal time of adjusted defuzzication

도로	입력값	각도로의 녹색신호 지속시간	
		비퍼지화에 의한 시간값	최대주기 시간에 의해 조정된 시간값
ROAD_0		21	20
ROAD_1		18	17
ROAD_2		13	12
ROAD_3		20	19

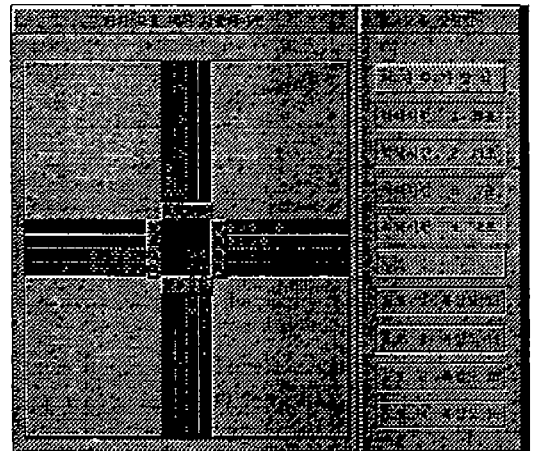


(그림 8) 정주기 시뮬레이션 상황
 (Fig. 8) The simulation situations of regular cycle

4. 실험 및 결과 고찰

4.1 퍼지 신호 제어를 위한 교차로 구성

본 논문에서 제안된 퍼지 교통 신호 제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 Borland C++을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 퍼지논리를 적용한 신호기 제어의 모의 실험을 수행하기 위해 다음의 (그림 7)과 같은 편도 2차선의 네거리 교차로를 구성하였다. 각 도로의 폭은 12(3×4)m, 도로 한 구간의 길이는 50m로 설정하였다. 도로에 진입하는 자동차 현대의 길이를 3m, 차두 간격 4m로 설정하였다. 이때, 도로 한 구간에 대기중인 차량 수는 도로 상황에 맞게 최대 24대를 넘을 수 없게 하였다. (그림 8)은 정주기 시뮬레이션 상황을 나타내며, 녹색 신호 시간이 15초일때 도로의 차량수와 정비 비율을 나타낸다. (그림 9)는 퍼



(그림 9) 퍼지주기 시뮬레이션 상황
 (Fig. 9) The simulation situations of fuzzy cycle

지 주기 시뮬레이션 상황을 나타내며 각도로의 복잡도를 분석하기 위해 적색 시간과 도로에 정체된 차량 수를 파악하여 복잡도를 나타낸다.

교통류의 이동을 위해 직진과 좌회전 동시 신호에 의한 4현시 체계를 구성하였다. 현시 순서는 좌측에서 우측 방향으로 이루어지고, 동화 순서는 적→황→녹→황 순으로 정하였다. 각 도로에서 우회전 차량의 이동은 고려하지 않았으며, 일단 교차로를 통과한 차량이 다음 교차로를 통과하기 위해 정지할 가능성을 배제하였다. 정주기 제어시, 신호 주기는 식 (2.1)과 같은 웹스터 최적 주기 72초로 고정하였다.

현시 간 전이 시간 즉, 황색 시간은 다음 식 (4.1)에 의해 3초로 고정하였다.

$$CP=t + \frac{v}{2a} + \frac{w+L}{v} \tag{4.1}$$

여기서, cp=현시 간 전이시간(초), t=운전자 반응시간(=보통 1 초), v=접근속도(Km/시), L=차량길이(m), a=감속도(m/sec²), W=교차로의 폭

퍼지 제어시, 신호 주기는 각 도로의 상황을 고려하여 유동적으로 결정하는데, 각각의 현시 지속 시간은 보행자의 통행 등의 요소를 고려하여 10초로 결정하였다. 또한 이 방법은 도로가 복잡한 상황에서 신호 주기가 너무 길어질 수 있는데, 이것은 다른 도로의 상황을 고려하지 않아서 오히려 도로의 정체를 증가시킬 수 있는 원인이 될 수 있으므로 그 주기가 최고 80초를 넘지 않도록 하였다. 즉, 신호 주기는 최저 52초, 최고 80초로, 각 도로의 상황을 고려하여 유동적으로 결정하도록 한다. 현시간 전이 시간은 차량의 유입량, 속도 등과 도로의 제반 사항을 정주기 제어와 유사한 상황에서 실험하였으므로 정주기 제어시와 동일하게 4초로 고정하였다.

4.2 실험 결과 및 기대효과

정주기 신호 주기와 퍼지 논리를 적용한 신호 주기에 각각 800초 동안 5회 실험한 결과 정주기 때는 845대에 비해 퍼지 신호 주기 때는 895대를 통과하여 퍼지 주기를 적용하였을 때 50대 더 통과하여 6%의 향상 효과를 보였다. 시뮬레이션한 결과의 비교치는 <표 7>과 같다.

본 논문에서 제안하는 신호 제어 시스템에서 얻은

<표 7> 정주기와 퍼지 주기 차량 통과수 비교
<Table 7> The comparison of regular cycle and fuzzy cycle in vehicles passing number

주기	실험 회수	도로1	도로2	도로3	도로4	총량 통과수	평균통과대수
정주기	1	164	162	182	168	676	169
	2	175	164	178	161	678	170
	3	176	161	172	163	672	168
	4	159	168	182	157	666	166
	5	151	181	178	178	688	172
퍼지주기	1	177	159	181	180	697	174
	2	190	178	181	171	720	180
	3	187	191	172	170	717	179
	4	183	170	176	173	702	175
	5	180	191	191	185	747	187

수 있는 기대 효과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 논문에서는 하나의 교차로에 대한 신호 제어만을 실험하였으나, 각각의 교차로에 동일한 제어 시스템을 적용할 때, 서로 연결된 교차로에 대해 연동 제어와 유사한 결과를 얻을 수 있다.

둘째, 상이한 교차로 특성을 갖는 도로에 대해 각각의 특성에 합당한 신호기를 설계하지 않고도, 여러 가지 상황에 유연하게 대처할 수 있는 시스템을 설치할 수 있으므로 설계 비용을 절감할 수 있다.

셋째, 각각의 교차로에 간략한 퍼지 제어 시스템을 설치할 때, 광역의 신호 제어를 위해 지역 데이터를 관리하기 위한 컴퓨터 시스템을 도입할 필요가 없으므로 설계 비용 및 관리 비용의 절감이 가능하다.

5. 결론

본 논문에서는 변화가 많은 교차로의 상황에 유연하게 대처하는 교통 신호 제어를 위해 퍼지 제어 시스템을 이용하였다. 신호 제어 시스템의 기본 개념은 각 도로의 복잡도를 분석하여 그 결과에 따라 녹색 신호 시간을 결정하는 것이다. 이와 같이 각 도로의 복잡도 분석시, 기존의 교통 신호 제어 시스템은 각 도로의 복잡도를 정확하게 산출하지 못한다. 따라서 각각의 도로가 어느 정도 복잡하가를 계산하기 위한

입력 값으로 각 도로의 적색 신호 대기 시간과 각 도로의 복잡도를 산출한 값에 입력 요소에 대한 퍼지 연산을 적용함으로써, 현재 도로의 정체 상황에 대한 정확한 분석을 할 수 있다. 그 복잡도는 비퍼지화 연산시 각 도로의 녹색신호 지속 시간으로 사상(mapping)되며 사상의 결과는 다시 최대 신호 주기를 벗어나지 않도록 적절한 시간 값으로 변환된다. 이와 같은 방법을 채택함으로써, 녹색 신호 시간이 결정될 때, 특정 도로의 상황뿐만 아니라 타 도로와의 연관 관계에 의해 적절한 녹색 신호 지속 시간을 결정하는 것이 가능하였다.

그러나 본 논문에서 예외 사항을 고려하지 않은 제 단일 교차로에서만 모의 실험을 하였기 때문에 연동된 각각의 교차로에 대해 퍼지 제어 시스템을 구축하고자 할 때는 각 도로의 현시, 연동값(off-set), 보정계수 등 지역적인 특성의 연구가 수반되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Fread L. Orcutt, Jr: The traffic signal book New Jersey:Prentice-Hall 1990. pp. 19~46.
 [2] Japp G. Dijkman: "Knowledge Based Fuzzy Control of systems," IEEE TRANSACTION ON AUTOMATC control, VOL. 35, NO. 2, 1990.
 [3] Klir, G. J. and Folger, T. a.: Fuzzy sets, uncertainty, and Information, New Jersey:Prentice-Hall, 1988. pp. 241~245.
 [4] Nam Gung Moon: "Application of Fuzzy Theory and Knowledge Engineering to the Analysis of Traffic Flow Characteristics on Urban Arterial Roads," Ph. D. dissertation, Hiroshima University, Japan, 199.
 [5] Sam Yagar and Edwin Rowe: Traffic control methods, NewYork:United Engineering Trustees, 1990. pp. 131~145.
 [6] 건철부: 「도로용량편람」, 1992, pp. 351~424
 [7] 도로교통안전협회 「교통신호시스템 데이터베이스 구축방안연구」 1993. pp. 2~24.
 [8] 도철용: 「교통공학 원론」, 청문각, 1993, pp. 470~491.
 [9] 임정국·원성현: 「기초응용퍼지이론과 시스템」, 서울·전남시대출판부 1992 pp. 16~141

[10] 원재무·최재성: 「교통공학」, 박영사, 1993, pp. 354~376.
 [11] 이광형·오길록: 「퍼지이론 및 응용」 제1권, 서울:홍릉과학출판사, 1991, pp. 8-3~9-35.
 [12] 이광형·오길록: 「퍼지이론 및 응용」 제2권, 서울:홍릉과학출판사, 1991, pp. 1-1~6-66.
 [13] 이운배·장기동·박효영·이옥빈: "자율운송 장치의 속도 제어 및 회전을 위한 퍼지 시스템" 「94가을학술발표 논문집」 한국정보과학회 호남 제주지부, 제6권, 제1호:42~48, 1994.
 [14] 이운배·이영신·박효영·이옥빈: "퍼지논리를 이용한 교통신호 제어" 「94가을학술발표 논문집」 한국정보과학회, 제21권, 제2호:385~388, 1994.
 [15] 이운배·이영신·박효영·장기동: "퍼지논리를 적용한 교차로 신호제어" 「95 봄 학술발표 논문집」 한국정보과학회, 제22권, 제1호:139~142, 1995.
 [16] 임경준: "퍼지논리를 적용한 서보 시스템의 제어" 공학석사학위논문, 전남대학교 1993.
 [17] 진현수: "퍼지 이론을 이용한 교통 신호의 제어에 관한 연구" 공학석사학위 논문, 서울시립대학교 1992.



이 윤 배

1980년 광운대학교 전자계산학과(이학사)
 1983년 광운대학교 대학원 전자계산학과(이학 석사)
 1993년 숭실대학교 대학원 전자계산학과(공학 박사)
 1979년~1981년 태평양화학(주) 전산실근무

1981년~1985년 서울 영락상업고등학교 교무주임
 1985년~1988년 군산전문대학 전산소장
 1988년~현재 조선대학교 전자계산학과 부교수
 관심분야: 인공지능, 전문가 시스템, 로봇틱스, 멀티미디어 등.



이 영 신

1986년 광주대학교 전자계산학과(공학사)
 1994년 조선대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)
 1996년~현재 조선대학교 대학원전자계산학과(박사과정 재학중)