

□ 論 文 □

# 퍼지 논리를 이용한 최적교통신호 현시설계에 관한 연구

A Study for Optimal Phase Design of Traffic Signal Using Fuzzy Theory

진 현 수    홍 유 식    김 성 환

(안산공업전문대 전기과)    (상지대 전산학과)    (서울시립대 전산공학과)

目 次

I. 서론	IV. 실험 및 고찰
II. 퍼지 이론	1. 대상교차로설정및 차량발생
III. 교통신호설계의 퍼지논리의 접근	2. 교통모델에 따른 모의실험및 고찰
IV. 퍼지논리에 의한 교통신호등 현시설계	V. 결론
1. 퍼지 현시 제어기	참고문헌
2. 결정된 현시의 녹색시간 결정제어	

ABSTRACT

In the paper a superior performance algorithm compared to the existing vehicle actuated controller and time fixed controller and the additional controller is described through realization of fuzzy traffic phase controller. Fuzzy theory is encouraging since the application is similar to human's decision ability that is appropriately coped with uncertain conditions. The paper presents that selection of the phase adequate the variable traffic conditions through the fuzzy theory algorithm and decision of optimal cycle time aproated the uncertain traffic volume are predominant in traffic jam solution compared to the existing Webster's cycle time decision method and the sequential traffic phase design method and dual-ring phase operation system.

요 약

본 논문에서는 모호한 상황에서도 적절하게 대처하는 인간의 판단능력과 유사한 퍼지논리를 이용, 교차로 교통신호등의 최적현시를 결정하는 제어기를 구현하여 기존의 차량감응식 제어기(Vehicle Actuated Controller)와 고정주기식 제어기(Fixed Cycle Time) 및 그외의 구현 가능성 있는 제어기와 비교하여 성능이 우수한 알고리즘을 제시한다. 각 현시단계의 주기시간을 결정함에 있어 기존의 방식인 웹스터(Webster)식을 이용하는 방법보다는 상황에 맞는 현시순서를 퍼지 논리 알고리즘을 통해 선정하고, 불확실한 교통량변화에 적절하게 대응하는 퍼지 최적주기시간을 결정하여 구성한 퍼지 최적현시제어기가 비교제어기에 비해 교통소통에 우수함을 보여주었다.

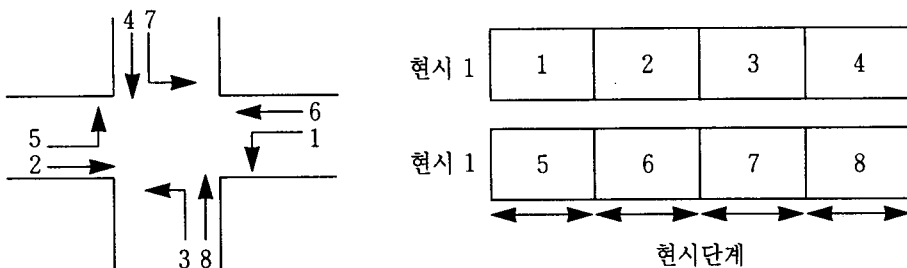
### I. 서론

교통신호제어에 있어서는 상충하는 방향의 교통류들에게 적절한 시간 간격으로 통행 우선권을 할당하고 통행차량들이 만족할수 있겠끔 하는 우선 순위 통행을 적절하게 주는 방식을 채택한다. 이는 질서있게 교통류를 이동시키며 교차로의 용량을 증대시킬뿐 아니라 차량이나 보행자를 안전하게 횡단시키고 인접 교차로를 연동시켜 상충하는 교통류들의 통행시간을 가장 적절하게 배분 일정한 속도로 긴 구간을 연속시킨다는 장점을 갖고 있으나, 자동차의 연속 통행에 지장을 주는방법으로 운영될 경우에는 부적절한 차량 통행 시간 간격으로 불필요한 지체가 생기게 된다. 그러므로 한정된 도로에서 교통수요의 계속적 증가와 교통량의 수시변동에 대처하려면 기존의 교통신호방식으로 현 교통지체 상황을 해결하는데는 한계가 있다.

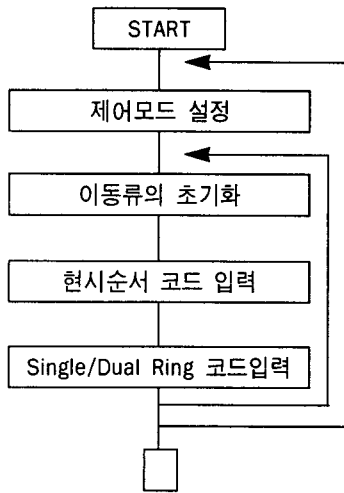
교통신호 제어에 있어 통과차량수, 대기차량수,보행자수,통행 연장시간을 통해 현재 교통상황의 가장 원활한 운용을 유지하고자 제어하는 과정은 여러 입력상황들을 종합 추론하여 가장 적절한 판단을 내리고자 하는 과정은 인간적 사고 접근 방식과 유사하다. 또한 모든 차량들이 가고자 하는 방향으로 제시간에 가장 짧은 시간에 보내주는것을 교통신호 제어의 목적이 라 한다면 가장 이상적인 교통신호제어 방식은 인간적인 사고 방법으로 여러가지 교통상황을

종합 판단하여 차량의 통행주기를 결정하고 원활한 교통흐름을 유도해 내는 현시의 순서까지 결정하는 것이라 할 수 있다.[1] 이러한 관점은 애매모호하고 불확실한 상황에서도 적절한 결정을 내릴수있는 퍼지제어 기법을 통해 교통신호를 제어할 수 있는 가장 큰 이유라 할 수 있다. 이 가운데 신호현시는 교차로 신호등에서 운영의 효율성과 안전성을 결정하는 기본 교통 제어요소이다. 교통신호에 관한 최근의 기술은 더욱 유용하게 발전하고 있으며 교차로를 더욱 복잡하게 제어하고 있다. 이런 신호현시의 메카니즘을 이해하기 위하여 교통신호 현시설계에 사용되는 현시와 현시단계에 대하여 설명이 있어야 겠다.

하나의 현시단계는 최소한 한 교통 이동류가 통행권을 얻고 다음에 이 교통류가 통행권을 잃을때 까지로 정의할 수 있다.[2] <그림 1>은 교차로에서의 교통류와 현시와 현시 단계를 설명한다. 여기에서 교통신호 현시는 하나 또는 그 이상의 자동차 혹은 보행자에게 부여되는 신호조건의 순서(Sequential Signal Conditions)로서 각 교통 이동류는 일정한 신호 지시를 가진 현시에 의해 이동기회를 부여 받는다. 따라서 신호현시는 교차로에서 전기신호의 연결선과 관계가 깊고 지역제어기 각각의 신호등 배선의 배열과도 관계가 깊다. 현시의 중첩은 한 현시가 다른 현시 단계에 연속적으로 작용할 때를 의미한다[3].



<그림 1> 교차로의 교통류와 현시관계도



〈그림2〉 서울시 현시체계 결정 과정도

〈그림2〉에서는 서울시 교통신호 현시 운영체계를 보여주고 있는데 서울시의 대부분 교통신호 현시는 다차선 4지 교차로인 경우 대부분 선행 좌회전 신호 형식으로 고정되어 있으며 2차선 이하 접근로의 경우 좌회전과 직진신호를 동시에 주고 있으나 현시순서 변경은 기본 설계에 의해 고정되어있고 교통운영의 안정상 변형이 허용되지 않고있다. 이는 교통신호등의 현시를 운영하는데있어, 교통 이동류에 대하여 얼마정도의 우선권을 어느순서로 배분할 것인가를 전혀 무시한채, 기존 TOD 신호 체제하의 분리신호 현시에 의존하고 있으나 서울시 전체 교차로 유형에 대한 좌회전비에 의한 현시운영 적정성은 하루 16시간중 약 80%정도의 시간대에서 현 분리신호의 현시에 부합되지 못하는

문제점을 안고있다.(오영태, 1992) 이를 고려한 교통신호 신호현시운영의 이중고리기법(Dual Ring Method)<sup>1)</sup>이 있으나 서울시에서 운영되고 있는 교통신호 운영시스템에서는 지역 제어기의 제한으로 기본적으로 4현시만 구현할 수 있고 신호현시의 이중고리기법의 구현은 불가능하다.(김영찬, 1992) 이와같은 신호 운영상의 문제는 좌회전 교통수요가 없는 경우 좌회전 현시의 생략,좌회전 수용에 따라 좌회전 길이의 신호주기당 변화등에 고려되어야 한다. 따라서 교통수요에 대응하는 적정 현시운영 방안의 설정과 현시 생략가능, 신호주기당 현시길이 조정 기능 등이 새롭게 운영되어야 겠다. 본 논문에서는 적정 현시순서와 각 현시당 적정 주기를 퍼지논리를 사용 새롭게 제시하여 보았다.

## II. 퍼지 이론

과학기술의 발달로 현대사회가 복잡해짐에 따라 사물을 판단하거나 결정하는 과정이 매우 애매하고 그 결과를 분석해 내기가 어려워 지고 있지만 인간의 두뇌는 이같은 애매하고 불확실한 환경속에서 사물을 판단하고 사고할 수 있는 특별한 능력을 지니고 있다. 이러한 인간의 사고 과정을 모델링하고 분석할 수 있는 퍼지이론은 종래의 시스템 제어에서는 구현될 수 없었던 다목적 제어, 논리적 제어, 언어적 제어 등으로 숙련자의 제어 행위를 자동화 하는 등 비약적인 성과를 거두고 있다. 이러한 퍼지이론의 구현 과정으로 퍼지규칙(Fuzzy Rule)의 설정이 필요한데 퍼지규칙은 몇개의 현장 경험 규칙으로 이루어 지고 퍼지규칙이 성립된후 제어의 출력과정이 추론(Inference Algorithm)에 의해 이루어지게 된다. 퍼지룰의 구현으로는 멤버십 함수에 의한 퍼지집합(Fuzzy Set)으로 식(1)

1) 이중고리기법 : 현시단계순서의 조합을 교통상황에 알맞게 NEMA에서 교통제어 모드를 교통대응모드에서나 TOD(Time of Day)모드에서도 사용할 수 있게 개발한 기법으로 현시체계가 두개의 경계(Barrier)를 가지며 그 경계 사이에서 통행권을 부여하는 현시가 교통량, 즉 교통수요에 적응할 수 있도록 만들었다. 이들 현시의 조합이 두개의 고리형태를 띠고 있어 이중고리라고 한다.

과 같이 표시할수있다.

$$\begin{array}{ccc}
 mA : x & \longrightarrow & [0,1] \\
 U & & U \\
 x_i & \longrightarrow & mA(x) \dots\dots\dots (1)
 \end{array}$$

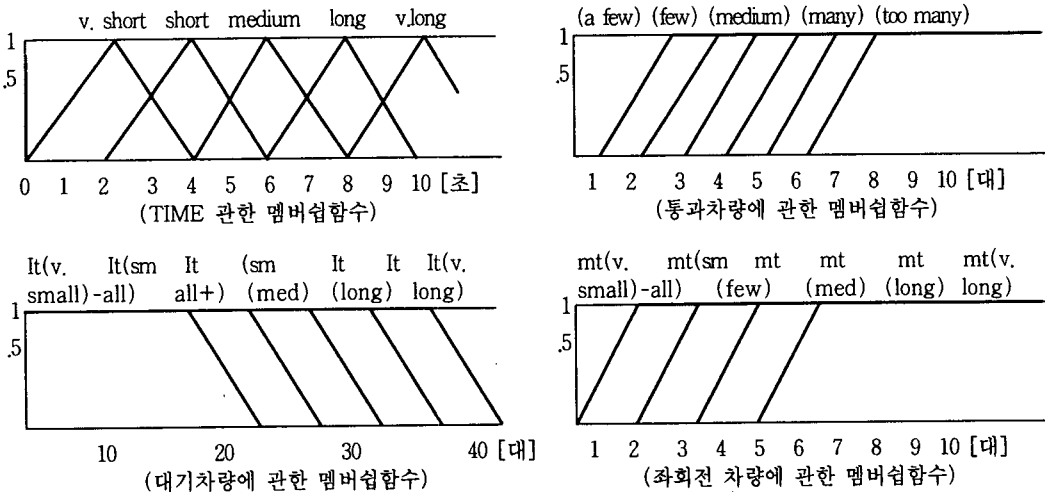
여기에서 정의역의 X는 취급하려고 하는 대상물 전체의 집합 즉, 전체공간(Universe of Discourse)으로서 특히 제어응용에서는 대지합(Support Set)이라고 한다.[4] 또한 멤버십 함수의 값 mA(x)는 대상물 X가 A라는 라벨로 표현되는 퍼지개념을 어느정도 충족시키고 있는지를 0 이상 1 이하의 실수값으로 표현되는 값으로서 현장의 전문가가 주관적으로 적절한 지정을 한다. 표준적으로 많이 사용되는 퍼지라벨과 그 삼각형형 멤버십 함수의 예로서 본 논문의 멤버십값에 적용하여 <그림 3>에 나타내었는데 입력퍼지 변수로는 교차로 통과차량수, 대기 차량수, 좌회전 차량수, 현 주기 진행시간 등으로 표현되었다. 퍼지 라벨값은 5단계로 구성 Very Large, Large, Medium, Small, Very Small로 구성하였다.

이밖에도 사다리형이나 벨형도 사용되는 수

가 있으며, <그림 3>과 같이연속적이 아니고 X를 유한개의 요소로 이산표현하여 각 요소별로 멤버십 값을 자유롭게설정하는 방식을 취하는 경우도 있다.

이와같이 퍼지집합을 사용한 퍼지 프로덕션 룰수 I는 십 몇개에서 수십개정도,전건부와 후건부의 항복수 M과 N은 수개 정도인 경우가 많고 개발 틀도 그정도의 규모의 수로 지원 하는것이 많다. 실제의 운영은 시시각각 입력되어 오는 관측정보와 룰의 전건부를 조사 대조하여 그 대조의 정도에 따라 후건부에서 추론출력을 얻는다. 퍼지 추론의 속도에 있어서는 관측 데이터가 압력된 후에 조작량이 결정되기까지의 일련의 처리를 퍼지 추론이라고 하며 이후 그것을 반복하여 실행하게 되어있다.

캘리포니아 대학의 L.A.Zadeh 교수가 1965년 퍼지집합의 논문을 발표했고 1973년에 퍼지추론의 논문을 발표하였다. 그것을 산업제어응용에 쉽게 사용되도록 변형하여 실제로 1974년 런던 대학의 E.H Mamdany 교수가 스팀엔진의 자동 운동 실험에 적용하여 퍼지에어 분야를 개척한 이래 그 방식에 따른 산업 응용 퍼지제어 시스



< 그림 3 > 교통제어 멤버십 함수



주기를 통해 연속적인 교차로 사이의 연동신호 오프셋(Off Set)을 결정하여 원활한 신호의 흐름을 피하는 FPC(fuzzy phase controller)이다. 즉, FLC 만으로는 2개 연동교차로의 연동관계를 고려할수 없어 FPC를 보강하여 FLC와의 적당한 연동을 통해 전체 지체시간의 감축을 가져 오겠끔 하였다. 2개 제어기의 교환은 또하나의 퍼지규칙을 설정하여 가장 적당한 교환시기를 결정하였다.[9][10]

또한 KELSEY는 분리된 단일교차로의 제어에서 퍼지변수로서 1)차량이 밀집된 방향과 이완된 방향에 있어서의 교통밀도 2)최종신호 변경 이후 소비된 시간 3)신호의 변화율을 가지고 신호제어를 피하였다.[11]

국내에서는 JIN, HYUN-SOO(1993)가 단일교차로에서 일정시간내의 통과차량과 대기차량의 데이터를 통해 퍼지논리로서 동정(Identity)를 구한 후 이에 대한 적정출력주기를 결정한 연구가 이루어졌고 HONG, YOO-SIK(1995)은 각 입력변수들에 가중치(Weight Factor)를 부과한 멤버십 함수를 도출 과포화 상태 방지 퍼지제어 알고리즘을 제안 좋은 결과를 보여주었다. [12][13]

본 논문에서는 MAMDANI논문의 주기시간 결정에만 국한된 알고리즘 보다 진보된 현시설계에 퍼지이론을 적용하여 각 방향에 대한 고정된 혹은 2중으로 운용되던 현시 계획(Schedule)을 각 상황에서의 퍼지입력변수를 통한 적정 현시를 결정하여 현시운용에 융통성과 교통흐름의 원활성을 꾀하였다.

#### IV. 퍼지논리에 의한 교통신호등 현시설계

지금까지 도시도로 교통망신호 체계에 실질

적으로 퍼지제어가 적용되어 국내외 적으로 실행된곳은 없는것으로 여겨진다. 그러나 퍼지논리를 이용한 교통시스템이 매우 유용한것은 서로 관련이 없는 여러가지 입력변수들을 종합추론하여 하나의 출력변수를 도출하여만 하는 교통체계 시스템 특성상 그 이용 가치를 쉽게 이해할 수 있다. 교통신호 프로그램 설계에 있어서는 지금까지 서울 및 기존 교통신호 운용상 현시체계의 변화는 고려치 않고있는 것으로 알고 있다. 즉, 한 현시체계에 있어 그순서는 정해져 있고 Dual-Ring 체계를 통해 약간의 운용상의 변화는 피할 수 있으나 고정된 틀을 벗어날수가 없다.

한 현시간격의 주기는 기존의 차량 감응식제어기와 최근의 인공지능 방식을 이용한 퍼지제어기에 의해 조정될 수있다. 그중에서도 본논문에서는 주기길이만을 결정하는 방식에서 벗어나서 현시 순서 체계를 퍼지논리로서 결정하는 방법을 도입하였다. 퍼지논리 운용은 언어변수로서 제어출력을 결정하는 방식으로 <그림 4>에 그 구성을 나타내었는데 전체구성은 퍼지주기제어와 퍼지현시선택제어로 분리할 수가있다. 교차로 퍼지 논리 제어기에 쓰일 수 있는 언어변수로는 교통밀도, 차량길이, 일정시간내의 통과차량, 단일차량사이의 시간차이, 밀집도, 차량 평균속도, 트럭의 비율, 공용차량의 점유율등인데 본논문에서는 통과차량수, 대기차량수, 통과시간을 사용하였다.

기본적인 퍼지논리가 교통제어에 쓰이는 것을 본다면 우선 교통류의 차간시간(gap) 제어에 쓰일 수 있음이다. 도시교통망에서 교통흐름의 차간시간 제어를 하는 목적은 차량군의 "녹색행렬"을 유지하고자 하는것으로 보통 교통흐름의 차간시간이 2초정도를 넘으면 교통신호등의 녹색등이 적색등으로 바뀌게 되는데, 그러다가속하는 트럭과 여러가지 기후, 도로상태등에

따라서 이시간을 새롭게 조정하는 것이 필요하다. 퍼지 논리는 적은 퍼지 규칙을 통해 이 시간간격을 상황에 따라 새롭게 조정하여 도시 교통 신호등을 제어할 수 있는데 즉, 트럭의 비율이 정상보다 크거나 도로가 결빙되었을때 이 시간차를 크게 해주거나 소형차등의 분포가 많을경우 시간차이를 적게해주는 것 등에 적용할 수 있다.

또한 경합하는 대중교통의 신호 제어에 어떤 차량에 우선권을 주느냐 등도 고려해야 하는데 최적 경로를 유지하기 위해서도 교통제어의 차별성은 필요하다. 특히 큰 교차로를 가로지르는 많은 차선일 경우 경쟁차량들의 서비스 순서를 결정하는 것은 어려운 문제이다. 이러한 순서를 결정하는데 필요한 고려범위는 가고자 하는 요구순서, 차량의 도착 순서, 근접속도, 차선의 중요순서, 가고자하는 속도, 수송인구 등으로 확대할수 있다. 차량의 통행 우선권의 순서를 결정하는 문제에 있어서는 출력에 대한 입력고려대상을 많이 할경우 제어출력의 결정이 복잡해지고 선행적인 관계를 도출하지 못하므로써 출력을 결정하는데 어려움이 있으므로 이에대한 방법으로 불확실하고도 비선형적인 모델에서 좋은 결과를 보이는 퍼지논리가 차량 우선 선택권 제어의 해결책을 마련한다.

그 외의 문제는 적정신호계획의 선택이다. 교통신호 제어는 교통망에 맞게끔 교통 흐름을 변화시켜 주는것인데 이때 고정된 파라메타(주기 시간, 현시길이, 지체등)를 가지고 주어진 다른

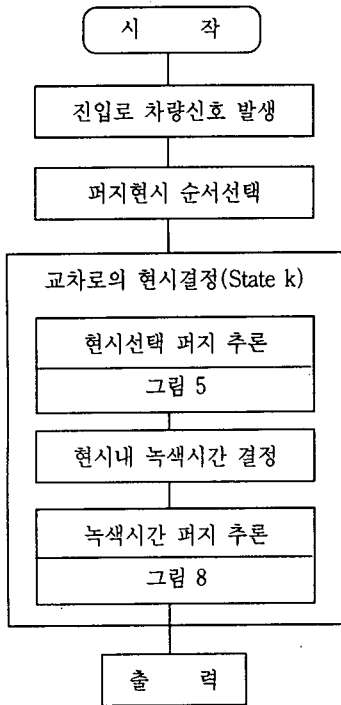
상황에 맞는 게 최적 신호계획을 설립하려면 교통 흐름 분포에 따르는 교차로 내의 신호계획을 별도로 선택 하여야만 한다. 여기에서는 국소교차로내의 신호주기 결정및 각 교차로와 관계하는 교통흐름을 유지하기 위해 연동 운용의 오프셋(Off Set)등을 결정하는 문제이다. 연동을 고려할 것인가 지역 교차로만의 교통 흐름만 고려할 것인가는 서로 상충적인 관계로 독립교차점 제어방식으로 연동화를 시킬경우 반감음 신호제어기<sup>2)</sup> 같은것도 연동을 시킬 수는 있으나 설치시는 연속진행을 방해하지 않도록 기능을 수정하지 않고서는 연속 진행 연동 시스템내에 설치해서는 안된다. 즉, 그렇게 한다면 반감음식이 갖는 융통성을 어느정도 잃게 된다. 그러나 퍼지논리를 적용한 제어기에서는 이웃 교차로와의 연동을 퍼지추론의 멤버쉽 함수로 표현할 수 있다. 여기에서 더욱 발전하여 퍼지제어는 불확실 하나 교통 신호계획상 고려해 주어야 하는 파라메타인 날씨, 도로조건, 공기오염 등의 문제를 신호계획 프로그램에 적용시킬수 있다. 제기된 문제를 정리하면 다음과 같다.

- 여러가지 방향의 현시상태 결정
- 2가지 상태 대신 다수상태를 고려한 제어와 이에 대한 결과
- 교통흐름의 주요방향 전환

<그림4>는 이들의 개념을 기본으로하는 전체 퍼지제어기의 구조도를 보여주고 있는데 크게 현시 결정제어기와 결정된 현시내에서 녹색시간을 결정하는 제어구조로서 구성된다.

퍼지 현시제어는 <그림 5>에서 보듯이 4지 교차로의 루프 검지기에 검지된 차량 데이터를 입력 변수로서 왕복 통과차량, 대기차량, 좌회전 차량에 대한 멤버쉽 함수를 각각 구한후 퍼지 추론 단계에서 교차로 특성에 맞는 퍼지규칙의

2) 반감음식 신호제어기: 교통량이 많고 고속의 간선도로와 그 반대의 특성을 가진 도로가 만나는 교차로에 사용하는것으로 교통량이 적은 부 도로 교통이 신호등 없이는 주 도로 교통을 횡단할 수 없는 교차로에 설치하면 좋다. 부 도로 교통이 산발적으로 도착함에도 불구하고 주 도로의 교통류를 고정시간 신호를 이용하여 규칙적으로 단절시킨다면 효과가 적다.



〈그림4〉 퍼지 교통신호제어 구조도

멤버십 값을 Min-Max 값으로 도출 일정 Grade를 넘으면 다음 현시로 넘어가고 그렇지 않으면 녹색 시간 연장 퍼지추론으로 들어가서 〈그림 8〉에 따라 주기시간을 결정한다. 주기시간 결정 알고리즘은 제어기 설명에서 서술된다.

1. 퍼지 현시 제어기

퍼지 추론은 각 차선별, 방향별 멤버십 값의 추출로된 9개 퍼지 입력변수와 2개의 출력변수로 조작되어 진다. 〈그림 5〉와 〈그림 6〉에 보여 주듯이 다른현시단계로의 변환은 각 차선별 대기차량과 통과 차량의 멤버십 값으로 결정입력으로 주어진다.

퍼지 추론 출력변수는 현시변환 그 시점 부터 그 다음 현시변환 까지의 녹색 확장시간과 다음현시로의 변환이다. 제어기의 퍼지를 블럭

은 입력변수들의 각상황의 조건을 나타내 주는 경험률의 조합으로 충분한 변환상태를 마련해 주기위해 5개로 정하였다. 각 입력변수들에 대해 가중치의 변화를 주므로서 각 현시의 최대 최소 길이를 보장하였다. 퍼지를 블럭 GP(Green Phase)와 RP(Red Phase)는 다음상태의 예비결정을 정하는데 쓰여지는 조건 룰이다. Nex(Next)로 표기되어진 또 하나의 퍼지를 블럭은 통과차선의 현시( Ph(녹))과 대기차선의 현시(Ph(적))의 신호 균형을 시간적으로 맞추기 위해 필요하다.

현시가 결정된 후 10초 마다의 퍼지 추론이 이루어 지는데 연장시간 퍼지룰은 G(Green), T(Time)블럭으로 10초마다 추론이 이루어 진다.모든 회전 차량의 흐름을 포함하여 4지 교차로에 있어 12개의 가능한 방향이 생기나 본 퍼지 제어는 6가지의 상태(State)로 줄여서 제어하게 된다. 이를 설명하면 일반적인 교통신호등의 설계규칙에 따라 좌회전 교통제어를 2가지 교통제어로 구별하여 전체 6개의 현시상태로 구별하고 〈그림 6〉에 표시하였는데 첫번째 경우(그림6 상태1,4)는 비보호 좌회전 현시로서 좌회전 차량의 운전자는 직진 차량을 관측하여야 하며 두번째(그림6 상태2,3,5,6)경우 직진 차량은 교통 신호등에 의해 정지되어야 한다. 상태 4-6 (State 4-6)은 방향만 바꾸면 상태 1에서 부터 상태 3의 과정과 같게 되므로 필요한 퍼지 룰의 수를 줄이게 된다. 상태 2와 3은 한 접근로에서 좌회전 교통량이 차선당 직진 교통량에 비해 조금 적거나 비슷할때 가동된다. 상태변환의 수는 1개의 퍼지 룰 집합내에서 다른 상황으로 변환의 퍼지처리가 공통으로 이루어져 그 수가 줄어들 수 있는데 이는 관련 입력의 멤버십 값들을 실제 검지된 교통밀도 값에다 대비(mapping)시킴으로서 가능하다.

퍼지 제어를 구현하는데 72개의 퍼지룰(6





Matrix	IF					THEN	
	IA1	IA2	IB1	IB2	T(Time)	DOS	EX(extend)
1	HIGH				LONG	1.00	LONG
2	MED					1.00	MEDIUM
3	LOW					1.00	SHORT
4		HIGH			LONG	1.00	LONG
5		MED				1.00	MEDIUM
6		LOW				1.00	SHORT
7			HIGH			1.00	SHORT
8			MED			1.00	MEDIUM
9			LOW		LONG	1.00	LONG
10			HIGH		1.00	SHORT	
11			MED		1.00	SHORT	

〈그림 7〉 현시제어 퍼지룰

방향 x 12개조건룰)이 설정되어지고 이러한 룰의 일부분이 〈그림 7〉에 주어졌다.

첨자 DoS에 해당되는 세로줄은 퍼지룰의 적용 정도를 가중치로서 보여주고 있고 퍼지룰의 행(Colour)에 해당하는 항목들은 각 방향등에 대한 멤버십 값으로서 각 규칙의 레벨 값들을 멤버십 함수에서 값을 추출 한후 전건부의 멤버십 값에따라 현시 변환이 DoS에 의해 결정되어지고 그 현시의 진행 시간은 Ex(Extend)로서 결정 되어지게 된다. T의 항목에서는 그 방향의 진행시간 멤버십 값을 같이 적용한다. 세부적인 알고리즘에서 기본이 되는 중요사항을 묶어 정리하여 고찰하여 볼것같으면 다음과 같다.

- 단지 약간의 좌회전 차량만이 있을 경우 제어기는 상태1과 4만을 오간다.
- 많은 좌회전 차량이 있을 경우 다음 상태가 2,3중 어떤것이 될것인가를 결정해야 한다. 이것은 동서 방향의 좌회전 차량 수효를 비교하여 결정한다.
- 녹색 시간의 확장은 통과 차량과 정지된 차량의 비가 클경우 일어난다.
- 시간에 의해 결정된 퍼지룰의 가중치는 녹색 시간의 무제한 연장을 막고 퍼지룰의 DoS세

로줄에 의해 조작되어지는 가중치가 최소 녹색 시간을 결정한다.

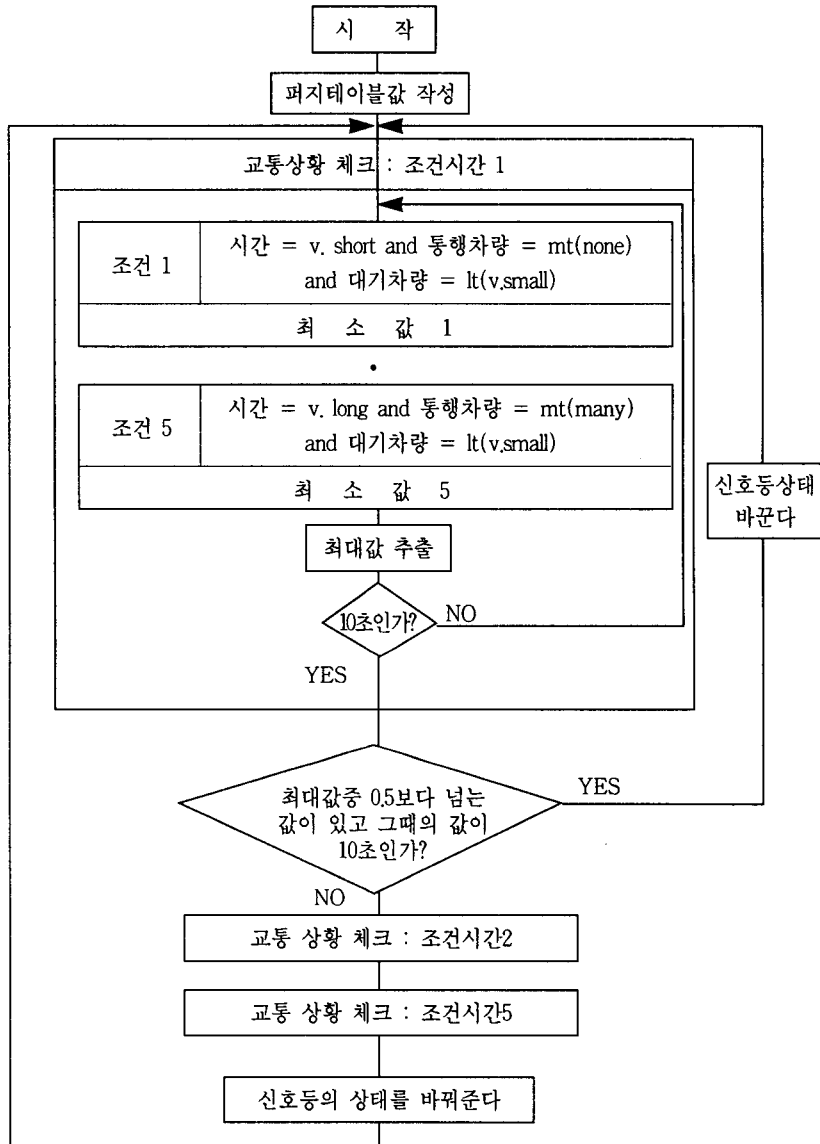
## 2. 결정된 현시의 녹색시간 결정제어

검지기로부터 검지된 차량숫자는 10초단위 간격으로 통과 차량들과 대기 차량들에 관한 데이터로서 알고리즘의 입력데이터로서 쓰여진다. 기존의 웹스터 최적주기 결정식(3)을 대치하는 제어기의 알고리즘은 또다른 제어규칙으로 구성되어 각 현시 결정 알고리즘을 통해 결정된 각현시 최대값을 구하기위해 주어지면 각 10초 20초...50초의 조건시간마다 연장시간이 결정되며 최대 연장시간은 현시 제어 알고리즘에 의해 결정되어지는데 그 순서도를 〈그림 8〉에 나타내었다.

$$Co = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^n Yi} \dots\dots\dots (3)$$

5개 규칙의 퍼지 멤버십 최소값 중에서 최대 값을 구해 연장시간을 결정하는데 그 흐름에 따라 〈그림 6〉의 상태 3(State 3)에서 두번째 조건시간을 다음식(4)와 같은 10초 동안의 차량 데이터 흐름가운데 살펴보면 '1'일때 차량의 발생을 의미하고 '0'일때 차량의 소통이 없음을 보여준다. qS1은 남북 도로상의 직진차량이고 qL1는 남북도로상의 좌회전 차량이다. 마찬가지로 qS1', qL1'도 동서도로상의 직진차량과 좌회전 차량의 유무를 표시하고 Qs1, QL1, Qs1', QL1'는 각각 차량들의 누적 차량수를 나타낸다.

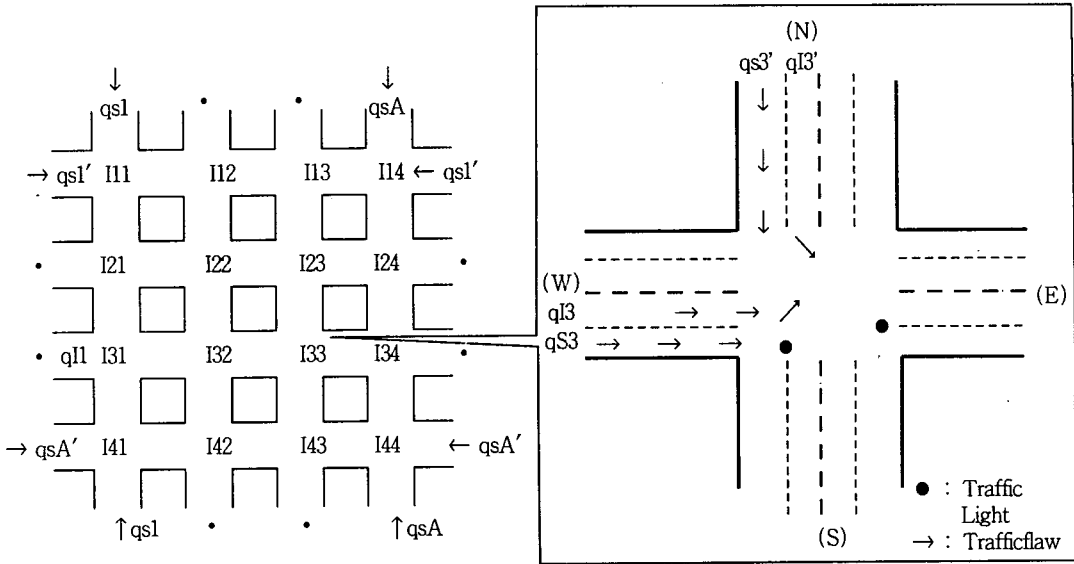
$$\begin{aligned}
 qn1 &= (0, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1) \\
 qL1 &= (0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1) \\
 qS1' &= (0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0) \\
 qL1' &= (0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0)
 \end{aligned}$$



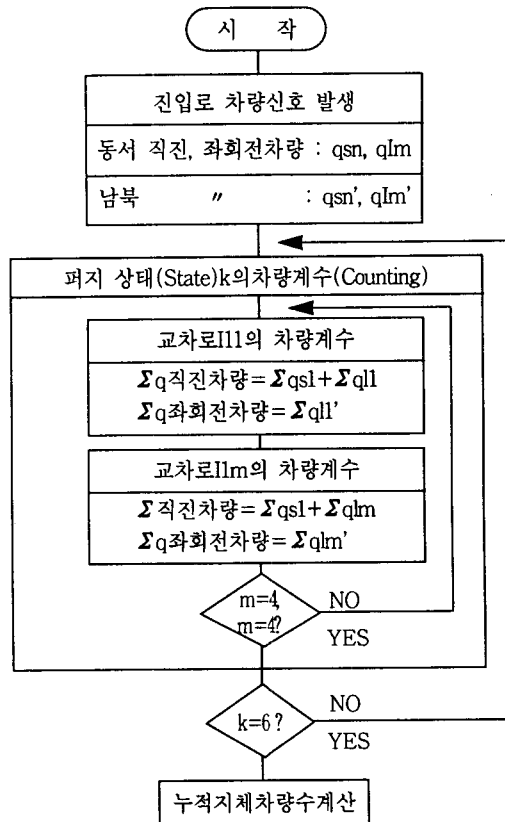
〈그림 8〉 주기결정 퍼지 알고리즘

$Qs1 = (0, 1, 1, 2, 3, 4, 5, 5, 5, 6)$   
 $Ql1 = (2, 3, 4, 4, 5, 5, 6, 6, 6, 6)$   
 $Qs1' = (3, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 6, 6, 6)$   
 $Ql1' = (1, 2, 2, 2, 3, 4, 4, 4, 4, 4) \dots\dots (4)$   
 동서 도로 직진 차선이 녹색등 기간이면 남  
 북도로에는 적색등 기간으로 전부 4대의 차량이

통과하게 되고 남북도로 좌회전 차선에는 2대의  
 차량이 정체되어있어 남북 도로상에는 총 2대의  
 차량이 정체될 것이다. 첫번째 조건시간 부터  
 경과시간이 13초 일 때는 통과하는 차량은 없고  
 정체차량도 좌회전차량과 직진 차량이 각각 1.4  
 대로 남게 되므로 퍼지 멤버십값의 하나인 전체



<그림 9> 모의실험 교통모델



<그림 10> 모의 실험 차량 흐름도

퍼지등급(Fuzzy Grade)이 '0'이된다. 퍼지 등급 값이 최대가 되는 시간이 10초가 안되거나 퍼지 등급값이 0.5초가 넘지않을 경우 현시제어알고리즘에 의해 신호등을 바꿔 준다.

## V. 실험및 고찰

### 1. 대상교차로설정및 차량발생

제어대상 교차로는 <그림 9>과 같이 가로세로 4차선도로를 4개씩 겹쳐서 16개의 교차로가 생기도록 임의의 차선을 가상모델로 설정하였으며 각각 4개씩의 진입 도로차선상에 검지기를 설치한 후 교차로 진입로 10m이전에 설치된 루프검지기로부터 차량의 검지를 시행하는 것으로 가상 설정, 교차로를 통과하기전에 검지기를 통과한 차량수와 정체된 차량수를 계수하는 것으로 하다. 대상교차로는 I11로 시작하여 I44까지의 첨자로 표시하였으며 각 교차로당 각기 다른 교통상황을 부과하기 위하여 교차로별로 시나리오 0(교차로 I11)에서 시나리오15(교차로 I44)까지를 설정하여 각 시나리오별로 좌회전 차량수를 달리하였다. 진입로별 차량 발생수는 <표 1>에 나타내어졌는데 각 진입로에서 발생한 차량수는 좌회전 차량을 포함한 수이므로 시나리오별로 좌회전비를 할당하여 발생차량수에서 좌회전 차량을 제하여 직진차량으로 계수되는

데 시나리오별 좌회전비는 <표 2>에 표시되었고 그에 따른 차량 흐름도는 <그림 10>에 나타내어 좌회전 차량은 해당 교차로에서만 회전 하도록 하고 그외의 교차로에서는 직진 차량으로 계수된다.

즉, 남북도로 좌회전 차량  $q_{l1} - q_{l4}$ 는 해당교차로에서 좌회전하여 각각  $q_{s1}' - q_{s4}'$ 와 합쳐지게 된다. 마찬가지로 동서 좌회전 차량  $q_{l1}' - q_{l4}'$ 도 해당 교차로에서 좌회전하여 각각  $q_{s1} - q_{s4}$ 와 합쳐지게 되어 직진차량으로 계수된다. 주기시간결정에 쓰이는 차량검지는 매 10초마다의 루프 검지기로 검지된 차량 감지 데이터로 녹색시간 연장 결정 알고리즘에 적되는 것으로 가정할 수 있는데 이는 차량계수의 복잡성을 피하기 위해 각 교차로에서의 차량계수를 10초 단위당 각 교차로의 현시를 조사하여 방향별로 차량수를 가감하여 실현하였다.

### 2.교통모델에 따른 모의실험및 고찰

<그림 9>의 모델을 통한 모의실험가운데 차량 신호발생은 C-언어의 의사랜덤신호로 발생하여 1,0의 유무로서 각 시간마다 그리고 각 차선마다의 평균차량발생 빈도를 정하여 교차로마다 다른 분포의 차량신호를 발생시켜 많은 경우의 수를 실험하였고 모델을 통한 차량의 계수식은 식(5)-(8)과 같고 교차로별 교통량의 배치는 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 교차로당 진입로별 발생 차량수

세로 진입로 가로 진입로		북-남 / 남-북 진입로 차량수			
		qs1	qs2	qs3	qs4
동-서/ 서-동	qs1'	1400/200	1200/400	1000/600	800/800
	qs2'	1700/400	1500/600	1300/800	1100/1000
진입로 차량수	qs3'	500/200	700/1000	900/1200	1100/1400
	qs4'	1000/1000	1200/800	1400/600	1600/400

각 수치는 직진차량과 좌회전 차량의 숫자를 나타내고 세로축과 가로축이 만나는 곳이 교차로의 배당된 차량수이다 이들 도로의 교차로 I11, I12, . . . . I13 에서는 이들 차량들에 대한 교차가 이루어져서 각각 1시간동안 이들 평균차량에 대해서 교통 차량의 유무를 판단하여 다음과 같은 모델식을 통하여 계산이 이루어지게 되는데 이 식들의 수치는 랜덤신호의 유무를 계수하여 모의실험식의 기본을 이루게 된다 즉 1 사이클에서 녹색등시간에 차량이 완전 소통되지 않고 QG라는 차량수가 남게 되면 적색등시간에 적재차량 QR 은 식(5)와 같이 된다.

$$QR = QG + \sum_{n1=1}^n qn1 \dots\dots\dots (5)$$

여기서 qn1은 남북도로상의 진입하는 차량수로서 좌회전 차량을 포함한다 그리고 적색등시간의 차량에 대한 지연시간은 각각의 차량이 1초당의 유무로서 계수되어지므로 그 차량수의 시간에 대한 누적으로서 지연시간을 다음과 같이 계산할수 있다.

$$DR-R = \sum_{n1=1}^n (QG + \sum_{n1=1}^n qn1) \dots\dots\dots (6)$$

다음으로 녹색등 시간에 같은 교차로에서 적체되어 지는 차량수 QG는 포화상태의 흐름비를 S라 하면 식(7)이고 여기서 QR은 녹색등이전의 적색등시간에 진입로(link)에 정체된 차량수로서 좌회전 차량수가 더하여진 숫자이다. n은 각 초단위로 계수됨을 의미한다

$$QG = (QR + \sum_{n1=1}^n qn1 - S n) \dots\dots\dots (7)$$

따라서 지체시간은

$$DG-R = \sum_{n1=1}^n (QR + \sum_{n1=1}^n qn1 - S n) \dots\dots (8)$$

따라서 결과로서 판단되어지는 각각에 대한 지체시간은

$$D = DR-R + DG-R \dots\dots\dots (9)$$

로서 구해지는데 DR-R은 적색등 시간의 지체시간이고 DG-R은 녹색등 시간의 지체시간을 의미한다. 위와 같은 식을 통해 각 현시단계가 바뀌는 순간마다 지체시간을 계수하여 한 주기 지체시간을 계산 하였다. 위에서 언급한 퍼지논리를 이용 현시제어와 주기확정 제어를 통한 제어알고리즘의 성능을 평가하기 위해 다음과 같은 5가지 경우의 제어기를 컴퓨터상에 구현하여 각각에 대하여서 비교를 해보았다. 이 중 제어기 1은 기존의 전자감응식 제어기의 주기결정식을 모의실험에 적합하게 단순화 시킨 식으로 기존 결정식과는 차이가 있음을 알린다. 제어기3,4,5는 기존의 신호제어기를 퍼지논리로서 본 논문에서 새로 설계한것으로 각각에 대하여 비교를 하였고 각각의 대한 설명은 다음과 같다.

· 제어기1 : 웹스터 주기결정 방식을 통한 제어기로서 기존의 전자감응식 제어기라고 불리는 것으로 모의실험상의 계수와 주기결정을 위에서 언급한 의사랜덤신호의 유무를 계수하여 각각의 현시간격의 주기시(T)을 다음과 같이 결정한다.

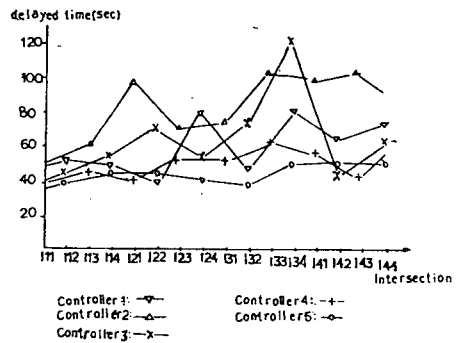
$$T_{\text{녹색}}N-S = \frac{\text{차량수}(N-S)}{\text{차량수}(N-S)+\text{차량수}(E-W)} \dots\dots (10)$$

$$T_{\text{녹색}}E-W = \frac{\text{차량수}(E-W)}{\text{차량수}(N-S)+\text{차량수}(E-W)} \dots\dots (11)$$

- 제어기2 : 고정주기(Fixed Cycle Time)제어기로서 교통상황과는 별개의 순차적 현시계통을 갖는 제어기이므로 모델에서는 차량신호와와는 별개로 고정시간 간격으로 60초의 현시간격을 갖게 하였다 지체시간 계산은 1,0의 의사랜덤신호의 유무로서 계산 하였다
- 제어기3 : 고정된 현시순서 상태에서 퍼지논리 알고리즘을 통해서 연동 Off-Set 값을 도출 하는 방식으로 T.O.D만의 연동 제어방식에 퍼지 제어를 구현한 것이다.[11]
- 제어기4 : 순차적(Sequence)현시 변환을 갖으면서 현시간격만을 퍼지룰에 의해 결정하는 방식이다. 단순히 FLC(Fuzzy Logic Controller)라할 수 있다.[12]
- 제어기5 : FPC(Fuzzy Phase Controller)와 FLC(Fuzzy Logic Controller)의 조합형으로서 이웃 교차로와의 연계는 차량수가 적을 경우,연동 Off-Set 값을 퍼지 멤버십 값으로 도출 고정된 현시에서 이웃 교차로와의 연동들 피하였고 차량수가 많은 경우는 본 논문의 퍼지 최적현시 제어기를 구현하여 상황에 맞는 현시순서와 통행 녹색 시간을 결정하였다. 제어기를 교환하는 차량의 많고 적음을 정하는 값 또한 퍼지룰로 정하여서 구하였다.

위에 언급한 교통모델을 통해 각각의 제어기를 모의실험한 결과가 <그림 11>를 통해 각 교차로마다의 위의식(5)-(9)를 통해 지체시간을 계산하여 표시하였다. 적색등 시간에 지체되어

지는 차량에 대해 1초마다 계산이 누적이 되어 지고 지체 시간이 오래된 누적 차량수에 대해서는 퍼지 현시제어기에서 멤버십 값으로 도출 다음 현시를 결정하는데 작용하게 되어진다. 지체 시간은 1,800초(30분)동안 모의실험을 PC 상에서 구현하여 누적시간을 계산하였다. 누적시간은 각 현시에서 정제되어있는 각 차량당 정제시간을 초단위로 누적 한것인데 이는 정제 차량수가 적더라도 정제되어 있는 시간이 클경우 멤버십 함수값에서 많은 비중(weight)을 두고 현시를 바뀌게 하는데 중요한 요소로 작용케 하였다.



<그림 11> 교통제어기의 지체시간비교도

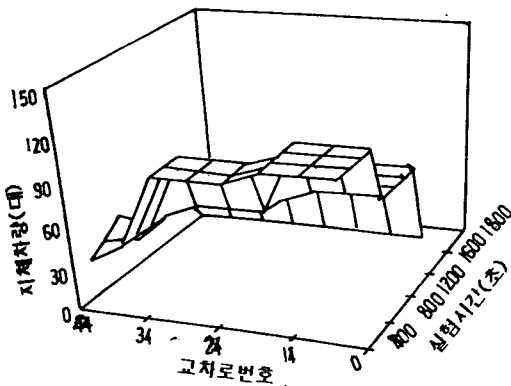
각각의 교차로에서 위에 언급된 모델을 통하여 정지(stop delay)지체율을 각 교차로당(시나리오당) 전체 지체시간을 초단위로 계산하여 <그림 11>에 나타내었는데, 퍼지최적현시 제어기가 여러교통망의 변화율에 있어 모든 제시된 교차로 경우에 있어 가장 낮은것은 아니지만 평균적인 낮은 지체율을 보여주어 평균지체율에서 다른제어기에 비해 우수함을 보여 주었다. 이를 <표 2>에서는 각 교차로당 변화되어지는 현시수와 각 현시별 차량당 지체시간을 나타내었는데 현시변환 제어기가 현시당 처리하는 차량수가 고정현시 제어기보다 뛰어난을 보여주며 차량수가 많을 수록 현시변환 횟수가

줄어들게 되고 같은 차량수라도 각 방향별 차량수에 따라 현시변환수가 다름을 보여준다. 이는 교차로간의 차량 이동속도에도 영향을 미치는 것으로 시간에 따른 교통량의 변화에 대처하는 정도가 타제어기에 비해 우수함을 보여준다. 즉 어떤 돌발적인 사태나 환경등에 적응하는 정도가 타제어기에 비해 우수함을 보여주는 것이다. 이는 각 교차로 마다의 시간당 지체 차량밀도 분포를 나타낸 <그림 12>를 통해 볼 수 있는데 퍼지논리를 안쓰면서 고정현시를 갖는 '제어기 2'와는 시간당 통과시키는 차량수가 많아 교통밀도 변화율의 차이가 안정되어 있음을 보여주고 있다.

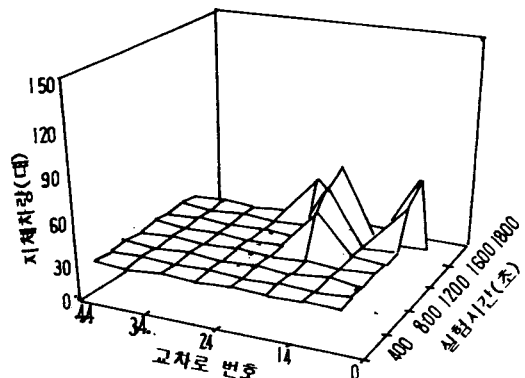
**VI. 결론**

지금까지 본논문에서는 인간의 접근방식과 유사한 퍼지논리를 이용하여 2차선 왕복도로망에서의 교차로 신호등을 제어하였다. 기존의 제어방법들과 이미 제시된 퍼지이용 제어방법들은 특별한 지역을 제외하고는 인위적인 방법을 사용하지 않는 한 효과적인 제어를 할 수 없는

반면에 본논문의 제어방법은 교통현시를 2가지 상태, 3가지상태... 등의 그때 상황에 맞는 현시수와 단계를 퍼지를 이용하여 선택, 주기시간까지 결정함으로써 갑작스런 교통상황의 변화에 대처하는 능력이 뛰어남을 지체시간 분포 비교에서 뛰어남을 알수있다. 즉 2가지 상태 제어에서는 시간의 절약을 가져올수 있고 4가지 상태 제어에서는 상호방향의 교통류의 충돌없이 연속적인 제어를 할수 있는 융통성을 보여주는것이다. 이는 각 교차로마다 정체 구간의 해소를 교통밀도의 멤버쉽 함수로서 구현함으로써 교차로 Network상의 교통류 우회 제어를 교통제어에 응용할 수 있음을 보여주는 것인데 여러 교차로가 합쳐진 도시교통망에서의 연동관계와 보행자 횡단보도등 미묘한 문제를 퍼지입력변수로서 도입하여 가장 적절한 연동 Off Set 값을 유도하여 낼수 있는 잇점이 있다. 앞으로 각 교차로 특성에 맞는 퍼지규칙을 도출해내는 자동 퍼지 학습알고리즘을 실현하고 이를 퍼지하드웨어로서 구현하여 실시간 제어에 적용한다면 더좋은 교통제어기의 실현이 다가올것이다.



제어기2의 교통밀도



제어기5의 교통밀도

<그림 12> 비퍼지제어기와 퍼지제어기와의 교통밀도 분포



## 참 고 문 헌

- [1] 도철웅(1990), "교통공학 원론", p448-598
- [2] 김경철(1993), "유효현시간격을 이용한 교통 신호 현시설계에 관한 연구", 서울 시정연구, 제1권, 1호, 서울시정개발연구원, p36.
- [3] 이광훈(1992), "교통신호제어론과 전략", 세진서적
- [4] L.A.Zadeh, "Fuzzy Set", Inform.Contr., vol.8, p338-353.
- [5] Moller, K., 1987 "Calulation of optimum Fixed-Time Signal Programs Transportation and Traffic theory." Proceedings of the Tenth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, July 8-10, 1987, MIT, USA
- [6] Stoffer, K.E., 1968, "Scheduling of traffic Lights : A New Approach," Trans, Rese., 2:199-234
- [7] Allsop, R.E. (1981), "Computer Program SIGSET for Calculating Delay-Minimising Traffic Signal Timings, Description and Manual for Users." Re-search Report, University College London, Transport Studies Group, London.
- [8] FHWA(1985), "Traffic Control System Handbook" Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington DC, USA
- [9] Pappis, C.P.; Mamdany, E.H. (1977), "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction", IEEE, Trans. Syst. Man Cybern., SMC-7, p707-717.
- [10] Nakatsuyama, M (1984), "Fuuzy Logic Controller for a traffic Junction in the One-Way Arterial Road", 9th IFAC-World Congress, Budapest, Hungary, p13-18
- [11] Kelsey, R., K. Bisset, M. Jamshidi (1993). "A Simulation Environment for Fuzzy Control of Traffic Systems", 12th IFAC-World Congress, Sydney, Australia, 18.-23. July 1993, Preprints, Vol., 5, p553-556
- [12] 진현수(1993), "퍼지동정 알고리즘을 이용한 교차로 교통신호등제어의 최적 주기 결정", 전자공학회지, 제30권, 6호, p100-108.
- [13] 홍유식(1995), "Prevention of Spillback Using Fuzzy Control at the Traffic Intersection", 34th SICE Annual Conference, Hokkaido University, 1995, July 26-28, p1321-1326