

□ 論 文 □

퍼지 적응제어를 통한 도시교차로망의 교통신호제어

Fuzzy Adaptive Traffic Signal Control of Urban Traffic Network

진 현 수

(안산공업전문대 전기과 전임강사)

김 성 환

(서울시립대 전자공학과 교수)

目 次

- I. 서론
- II. 퍼지 이론에 의한 교통망 신호제어의 접근
- III. 퍼지 교통모델
- IV. 퍼지 교통망 제어 룰
 - 1. 통행 우선 제어 알고리즘
 - 2. 교통망 분산 제어 알고리즘
 - 3. 적응제어 알고리즘
- V. 모의실험 및 고찰
- VI. 결론
- 참고문헌

ABSTRACT

This paper presents a unique approach to urban traffic network signal control. This paper begins with an introduction to traffic control in general, and then goes on to describe the approach of fuzzy control, where the signal timing parameters at a given intersection are adjusted as functions of the local traffic network condition and adjacent intersection. The signal timing parameters evolve dynamically using only local information to improve traffic signal flow.

The signal timing at an intersection is defined by three parameters: cycle time, phase split, off set. Fuzzy decision rules are used to adjust three parameters based only on local information. The amount of change in the timing parametrs during each cycle is limited to a small fraction of the current parameters to ensure smooth transition. In this paper the effectiveness of this method is showed through simulation of the traffic signal flow in a network of controlled intersection.

I. 서론

도시교통의 원활한 흐름을 유지하고 도로시설의 수급 조정을 위해 도로를 무조건적인 신설하는 것은 도로용지의 한계와 토지보상비를 포함한 건설비용이 천문학적인 이유로 많은 한계를 지니고 있다. 이중 서울의 도심 교통상황은 인구와 통행의 증가로 말미암아 악화일로를 거듭하고 있으며 이로인한 교통문제는 계속되는 폭발적인 교통수요의 증가로 인하여 도로의 추가 건설이나 교통체계 관리 사업으로는 해결이 불가능한 실정임으로 통행수요 관리측면에서 주어진 교통망의 이용 효율을 극대화 할수 있는 첨단도로 교통체계의 도입에 대한 관심이 대두되고 있다. 따라서 현재의 도로 교통상황중 모든 유형의 도로에서 발생할 수 있는 도심교통의 정체현상을 완화하고 차량 통행을 관리할 수 있는 통신호등 운용기술및 전략이 필요한 실정이다.

교통류에 대한 제어구조는 대개 기능적(Operational), 전술적(Tactical), 전략적(Strategic) 계층으로 구분되어 질 수 있는데 기능적 수준의 제어는 각교차로 신호등의 제어대상이 각 차량당까지 세부화 할 수 있는것이고 전술적 수준의 방법은 몇개 교차로의 부(Sub)그룹의 차량 흐름에 대한 제어라 할수있고 전략적 제어라 함은 긴시간 동안의 교통계획이나 교통량의 분포밀도에 관한 신호계획이라 할수 있다. 그런데 기존의 도로용량을 최적 활용하는 교통흐름의 관리효율 측면이 어느 수준에서나 필요한 실정이다. 단일교차로의 실시간 교통 제어 연구로 Gazis&Potts(1965)[1], Longley(1968)[2], Miller(1963)[3]등과 Micro computer를 이용한 순차제어로 M.Drobin(1983)[4]이 있고 교차로망의 교통흐름에 대한 연구로는 R.Camus(1983)[5]와 Simon Shepherd(1991)[6]가 있다. 그러나

교통류의 제어는 국소적이거나 전체적인 한편만을 가지고서는 그 퍼포먼스(performance) 영역을 넓힐 수 가 없으므로 좁게는 단독교차로의 신호제어만 유지할때와 넓게는 교차로망의 원활한 교통흐름을 유지하는 것이 교통 소통에 좋은 효과를 가져 올 수 있다. 따라서 개별적 교차로 제어와 교통망 제어를 함께 제어하는 알고리즘이 필요하고 불확실한 상황 가운데 비교적 유효한 판단을 내려야만 하는 교통제어의 특별한 상황이 인간의 판단 능력과 유사한데, 퍼지논리는 다음과 같은 특징 즉, 1) 입력 데이터와 제어에 있어 많은 융통성을 가질수 있다. 즉 불완전하고 비결정적이고 비관련적이고 모호한 데이터를 가지고 실세계 분산정책에 사용할수 있음이다. 본문에서는 교통량 통행시간, 지체시간등이 그 예이다. 2)위험하고 불확실한 상황을 포함하는 관리분야와 의사결정분야에 퍼지논리를 사용할 수 있어 교통분야에서는 지체시간,정체길이이등의 데이터를 이용할수 있다. 3) 낮은 정보통신비를 들 수 있다. 퍼지논리는 지식을 추론화하고 정보를 제어 결정함에 좋은 결과를 가져올 수 있음이다.

한편 첨단도로 교통체계중 퍼지의 인공지능을 적용하여 교통문제를 해결하고자 하는 연구가 국내외에서 이루어져 왔다. PAPPIS와 MAMDANI(1977)[7]는 2개의 1차선 단일교차로에 대해 퍼지교통신호제어기를 제안하였다. 여기에서는 3개의 입력변수와 1개의 출력을 사용하여 매 10초마다 현행 통과차량 녹색주기의 퍼지연장을 결정하였다. KELSEY(1993)[8]는 분리된 단일교차로의 제어에서 퍼지변수로서 1)차량이 밀집된 방향과 이완된 방향에 있어서의 교통밀도 2)최종신호 변경 이후 소비된 시간 3)신호의 변화율을 가지고 신호제어를 피하였다. 국내에서는 JIN, HYUN-SOO(1993)[9]가 단일교차로에서 일정시간내의 통과차량과 대기

차량의 데이터를 통해 퍼지논리로서 동정(Identity)를 구한 후 이에 대한 적정출력주기를 결정한 연구가 이루어졌고 더 나아가 현시설계에 퍼지논리를 이용하여 효율적인 교통제어운용(1996)[10]을 보여주었다. HONG, YOO-SIK(1995)[11]은 각 입력변수들에 가중치(Weight Factor)를 부과한 멤버십 함수를 도출과포화 상태 방지 퍼지제어 알고리즘을 제안 좋은 결과를 보여주었다.

본 논문에서는 교통량과 차선이 조정된 몇개의 2차선 교차로망을 형성하고 이를 퍼지논리를 통해 제어하였다. 지역 교차로신호 제어기에서의 교통신호 수집을 위해 제어기는 기존 신호제어기가 설치되어져 있는 지역에 독립적으로 설치되어야 한다. 각 교차로는 시간 파라미터를 조정하기 위해 각 교차로에 맞는 퍼지결정 룰을 갖게된다. 주기 시간과 현시간격을 맞추기 위한 퍼지결정 룰은 현행 SCATS에서 쓰여지는 일반적인 원칙을 적용하였다. 즉 주기 시간은 효율적인 포화도를 유지하는데 맞추어졌고 현시간격은 이웃 도로와의 같은 포화도를 유지하기 위해 조정되어졌다. 각 교차로의 오프셋에 대한 퍼지결정 룰은 내부 교통 흐름 방향에서 정지수를 최소한 줄이기 위해 이웃 상층 교차로와의 연계를 유지하기 위해 조정 되어졌다. 작은 교차로망의 모의실험을 통해 분산 퍼지결정 시스템이 시간지연과 정지수를 줄이는데 효율적임을 보여주었다. 이방법은 지역 교차로에서 수집된 교통 데이터를 이용하여 주기시간, 현시간격, 오프셋을 각각 독립적으로 조정하여 전체 교차로망에서는 높은 분산 구조를 갖는 제어방식을 제안한다. 이러한 구조는 각 교차로마다 설치된 간단한 마이크로프로세서에서 시행하는 제어작용이 모여져서 전체 교차로망의 효율적인 제어에 연결되어지는 방법이다. 따라서 마이크로 프로세서가 설치된 교차로가

많을수록 전체 교차로망의 효율을 높일 수가 있다.

II. 퍼지 이론에 의한 교통망 신호제어의 접근

인간의 두뇌는 애매하고 불확실한 환경속에서 사물을 판단하고 사고할수 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 제어등으로 숙련자의 제어 행위를 자동화 하는등 비약적인 성과를 거두고 있다.

본 연구에서는 퍼지이론을 적용, 도시교통망의 신호등 제어를 위해 몇개 교차로를 접속하여 교통망모델을 구성한후 교통류 흐름을 2가지 제어개념으로 제어하였다. 교통류의 흐름은 단일 교차로의 차량제어만 가지고서 교차로망의 흐름을 원활하게 유지할 수 없기 때문에 교차로의 접속 상태의 교통 흐름을 위해 연동차원의 제어 알고리즘을 구성하여야 전 교차로의 차량흐름을 유지할 수 있다.

교차로망에 대한 기존 제어시스템으로는 1980년대의 값싼 마이크로 시스템으로 구성하여 각각 호주와 영국에서 발전하였던 TRANSYT[12], SCATS[13]와 SCOOT[14]가 있는데 이들 제어시스템은 교통기능 구조체 차원이라서 현시주기길이, 녹색등 간격, OFFSET 값등의 책정이 서로 관련성을 가지고서 결정할 수도 없을뿐 아니라 일관성 있게 제어할 수도 없었다. 그중 SCATS와 SCOOT는 주기길이, 현시간격, OFFSET등을 적용화하기 시작하였는데 SCATS는 교차로 그룹을 서브시스템(Subsystem)으로 조직화하여 각 서브시스템은 각 그룹내의

중요 교차로를 하나씩 선정하여 직접 지역제어 기내의 컴퓨터에 의해 조정되어 그 서브그룹내의 교통 흐름을 대변하겠끔 하였고 그외의 제어기는 중요교차로 제어기의 주기시간, 현시간격, OFFSET을 공유하게 하였다.

따라서 본 논문에서는 같은장소에서도 시간에 따라 교통량의 변화가 극심한 서울시 교통 상황을 고려한 제어 알고리즘으로서 우선 기능적 차원의 제어개념으로 "통행우선 제어알고리즘"을 제안하는데 이는 이웃 교차로와의 교통 흐름관계를 배제한채 단일 교차로내에서 교통 입력 센서로 부터 들어온 교통 입력정보로부터 각 방향별 통행 우선권을 결정하는 알고리즘이라 할 수 있다. 단일 교차로에서 교차하는 방향별 통행차량과 정지차량, 녹색등 통행시간을 기본 입력으로 하여 각각의 멤버쉽 함수값을 구한후 퍼지 추론(Fuzzy Inference)을 통하여 현시순서, 주기 길이, 녹색등 시간 간격등을 결정하고 전술적 차원의 개념으로서 몇개 교차로를 사각형 망 접속형태로 구성하여 이웃 교차로와의 균형관계를 고려한 제어개념이라 할 수 있는데 이는 접속된 교차로의 상호 연관 관계를 단독교차로의 주기길이등의 결정에 포함시켜 교차로망의 과포화 교통정체 길이가 균형을 이루도록 퍼지분산알고리즘을 통하여 조정하여 주는것이다.

또한 "교통망 분산제어 알고리즘"은 정해진 샘플링 시간마다 교차로 교통밀도의 균형하에서 시작하여 초과된 입력 차량수에 대한 멤버쉽값을 책정 이웃 교차로로의 분산을 유도하는데 교차로당 정체 길이를 계산 분산계수(Distribution Factor)를 정한후 그 분산계수에 맞는 멤버쉽값을 구하여 퍼지규칙의 조합으로 이루어진 퍼지추론기관을 통해 분산되어야할 교차로의 녹색등 길이가 정해지게된다.

교통망의 교통흐름을 원활하게 할경우 운행

교통량을 가지고서 교통망제어의 방법을 달리 할 수 있는데 교통량이 일반적으로 적을경우 현시순서를 동일하게 하고 OFFSET값을 결정하여서 연동관계를 유지시켜 주어야하고 교통량이 많을경우에는 각 교차로의 단독 교통량만을 가지고서 현시순서와 주기길이,녹색등시간을 결정하여 주어야 한다.

Ⅲ. 퍼지 교통모델

교통량은 교통망의 제어파라메타로서 기본적인 변수로 볼 수 있다. 교통제어의 궁극적인 목적은 어떻게 교통량을 효율적으로 분산하여 전 교차로의 균일적인 혼잡에의한 지체량을 유지시켜 주는것이다. 교통 모델을 시중속 특성 파라메타로 해석한다면 교차로망의 해석은 교통 모델을 제어하는데 관련시켜 주어야하는 파라메타들 즉, 주중의 요일, 각 방향별 교통량, 주기 시간, 차종에 따른 정체량등을 일정 샘플링 시간마다 상태 방정식으로 해석하기 위하여 상관관계수(Corelation Factor)를 구해야 하며 외부에서의 외란등도 고려해주어야 하는등 해석하는데 많은 어려운 점이 있다. 그러므로 불확실하고도 서로 관련성이 없는듯한 입력파라메타들, 그러나 교통량을 제어하는데는 필요한 파라메타들을 퍼지규칙을 통한 추론 방식을 이용 인 지적 접근방식으로 유도하는것은 좋은 제어출력을 위한 또하나의 필요한 방법이라 할 수 있다.

교통 모델을 설정하여 제안한 알고리즘을 적용하기위하여 입력 파라메타들을 설정하여야 하는데 퍼지 논리적용 모델에서는 입력 파라메타들의 선정이 다른 제어 논리보다는 많은 제한이 없으므로 좋은 퍼지 규칙의 설정만 보장된다면 가능한한 많은 입력변수들을 적용하는

것이 좋은 제어출력을 위해 필요하다. 교통신호 등 제어는 주대상을 교통량이라 할 수 있으므로 통과차량수(pass_sat), 좌회전 차량수, 정제 차량수(wait_sat), 현시 길이, 차량밀도(vol_diff)를 적용하였다. 적용된 변수들에 대한 멤버십 값을 삼각형 형과 Z형, S형의 멤버십 함수를 통해 구한후 가장 적절한 퍼지 규칙을 생성하여 제어출력값인 녹색 연장시간(cycle_change), 분산계수(req_adjust),연동계수(allow_adjust)를 구하였다.

단독교차로의 차량통행만을 생각한다면 교통신호제어에 고려해주어야 할 변수들은 간단하여 질 수 있다. 교차로를 통과 할 것으로 예상되어지는 통과차량, 대기 차량, 현재 현시의 진행 시간등을 고려하는 것으로 국한 할 수가 있다. 여기에 교차로가 1차로 도로(좌회전 무시)인가 2차로 도로인가를 고려해주어야 하고 좌회전 차량의 통과차량등을 계수 해주어야 한다. 이를 위해 교차로 위쪽에 설치되어 있는 검지기가 있어야 하고 이를 통해 현재 현시가 바뀌지 않는 가운데 통과할것으로 여겨지는 차량수, 정제되어질 것으로 여겨지는 차량길이등을 계수 함이 이루어져야 한다.

그러나 교차로가 하나가 아닌 연계되어 있다는 것이 문제의 복잡성을 더해주고 또한 교통흐름의 원활이 곧 이웃 교차로와의 연계를 고려해주어야 함을 의미하므로 2차도로의 연계 교통망을 제어함에 있어서는 또다른 변수 즉, 교통흐름의 원활을 위하여 OFFSET을 조정하여 주어야 하고 각 교차로의 정제 차량길이를 감안 다른 교차로에의 분산을 유도하는 분산 파라메타를 새롭게 고려해주어야 한다.

국소교차로만의 지역제어 "통행 우선제어"와 연동을 고려한 "분산제어 알고리즘"이 적절하게 적용되어야만 가장 이상적인 교통신호제어가 이루어진다고 볼 수 있으나 이를 실현하는

것은 단어의 의미가 나타내는 것처럼 명쾌하지는 못하다. 이는 교통제어에 많은 다변수가 포함되어지기 때문이다. 그러나 이를 구분하여 적절하게 적용하는 것이 퍼지 적용제어라 할 수 있으므로 두가지 제어기법의 적용성 기점을 퍼지규칙 룰로서 제안하여 이를 추론한 퍼지그레이드(fuzzy-grade) 값이 0.5보다 클 경우 "분산 제어알고리즘"이 사용되어지고 0.5보다 적을 경우 "통행 우선제어알고리즘"이 적용되어지도록 한다. 따라서 본 논문에서는 교차로마다 마이크로세서 콘트롤러가 단독교차로의 주기와 현시순서등을 제어할 수 있고 교통망 전체의 교통흐름 제어를 분담하는 알고리즘을 고안하여 교차로 콘트롤러가 단지 몇개 이상이 있다 하더라도 교통망 전체 제어 능력에는 최소한의 영향을 주는 퍼지제어룰로서 큰 흐름의 방향차량들의 정지횟수를 최소한으로 줄이는데 적용하는 제어기법을 제시한다.

IV. 퍼지 교통망 제어 룰

약 40여개의 퍼지 결정룰(Fuzzy Decision Method Rule)이 "통행 우선 제어 알고리즘"과 "교통망 분산 제어 알고리즘"을 위해 제시되어 지는데 단독교차로의 통행류를 결정하는 제어 파라메타인 주기시간과 현시간격, OFFSET등을 결정하는 퍼지룰은 서로 관련이 없는 하나의 출력파라메타의 용량을 확대 하기위해 또다른 하나의 파라메타의 용량을 감소시키는 결과를 막기위해 교통량에 따라 각 제어 알고리즘의 변환점을 적절히 적용시켜주는 퍼지제어룰이 구성되어져야 시간에 따른 교통량의 변화와 지역에 따른 교통량의 변화가 큰 도심 교통량의 과포화방지 제어에 유효함을 알수있다.

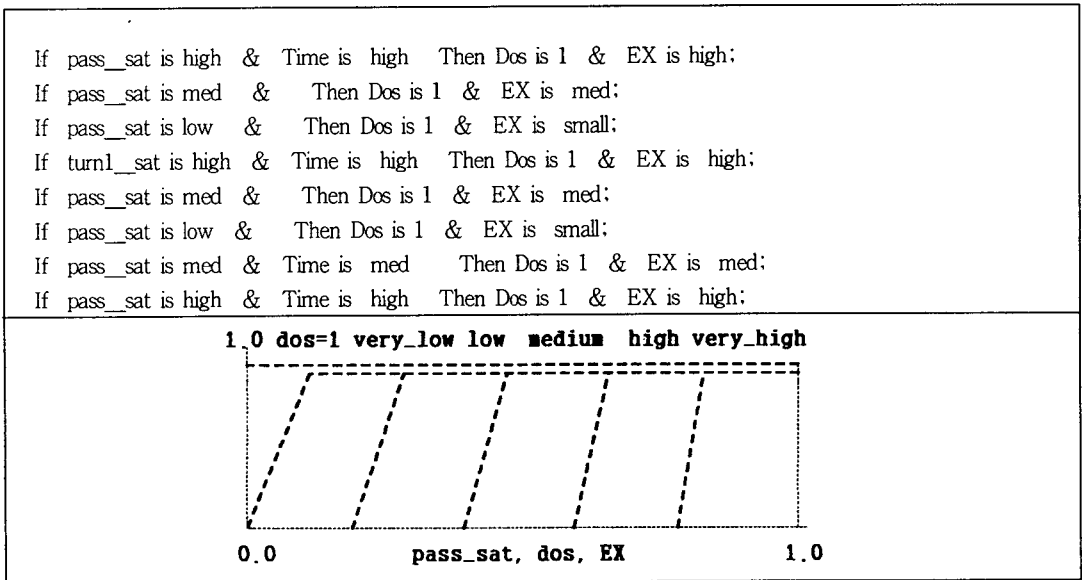
1. 통행 우선 제어 알고리즘

1) 현시 순서 결정률

모든 회전 차량의 흐름을 포함하여 4지 교차로에 있어 12개의 가능한 방향이 생기나 본 퍼지 제어는 6가지의 상태(State)로 줄여서 제어하게 된다. 그리고 일반적인 교통신호등의 설계 규칙에 따라 좌회전 교통제어를 2가지로 구별하여 보았는데 첫번째 경우, 좌회전 차량의 운전자는 직진 차량을 관측한후 회전을 하는 경우와 2번째 경우 직진 차량은 교통 신호등의 해 정지되어져야 좌회전이 이루어 지는것이다. 현시 상태 변환중 “좌회전, 직진 동시 수행” “좌회전만 수행”등에서 서로 방향만 틀리고 회전하는 원리는 같으므로 현시상태4-6 (State 4-6)은 회전에 의해 상태 1에서 부터 상태 3에 까지 줄어들게 되어 필요한 퍼지 변수의 수를 줄이게 된다. 상태변환의 횟수는 1개의 퍼지 룰 집합이 다른 상황의 퍼지 처리에 공동으로 쓰

여 그 수가 줄어들게 되는데 이것은 교통밀도를 조사하는 검지기의 차량 데이터를 퍼지 추론의 공동 입력 변수로 사용할 수 있음을 보여 주고 있다. 위와 같은 방향전환의 현시제어를 구현하는데 72개의 퍼지룰(6방향 × 12개조건룰)이 설정되어지고 이러한 룰과 멤버쉽값이 <그림 1>에 주어졌다.

교차로를 형성하는 도로의 좌회전 교통량(퍼지 룰에서는 “turn1_sat”과 “turn2_sat”로 표시)에 따라 현시순서가 결정되어 지고 첨자 Dos에 해당되는 값들은 퍼지룰의 적용 정도를 가중치로서 보여주고 있고 퍼지룰에 해당하는 항목들은 각 방향등에 대한 멤버쉽 값으로서 각 규칙의 레벨 값들을 멤버쉽 함수에서 값을 추출 한후 전건부의 멤버쉽 값에따라 현시 변환이 Dos에 의해 결정되어지고 그 현시의 진행시간은 Ex(Extend)로서 결정 되어지게 된다. T의 항목에서는 그 방향의 진행시간 멤버쉽 값을 같이 적용하고 그외의 멤버쉽값은 주기시간 멤버쉽값과 동일하다.

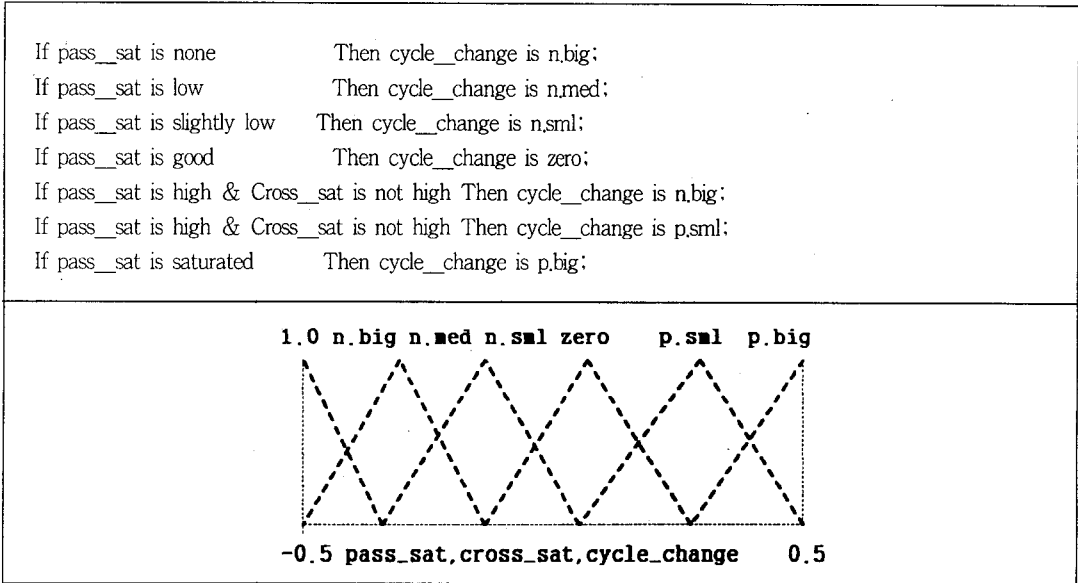


<그림 1> 현시순서 결정 퍼지룰과 멤버쉽값

2) 주기시간 결정률

주기시간의 결정에서는 한 주기내 최대 용량

의 차량 통행을 위한 최적 시간의 결정이 되어야 함이 우선이 된다.



〈그림 2〉 주기시간 결정 퍼지룰과 멤버쉽값

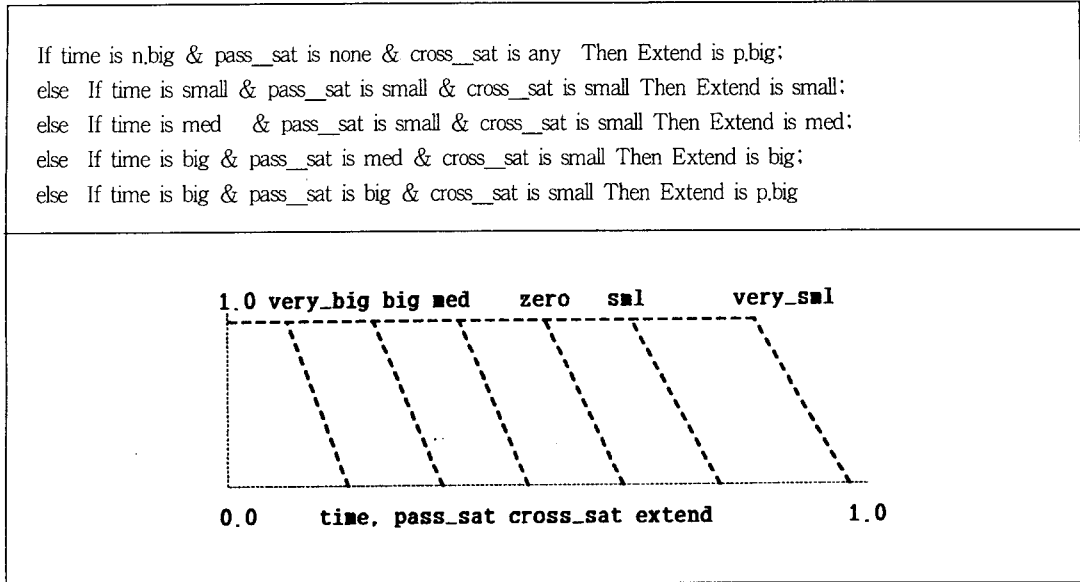
한 주기내 최대 용량이라 함은 주기의 변화를 통해 최대 통과 차량을 구하는 개념이 된다. 이때에는 통과 차량과 대기차량의 정지 수와 지체시간등을 고려해주어야 하는데 교통량이 적을 경우 주기시간을 줄여 현시변화로 인한 지체 시간을 줄일수 있어 높은 교통 포화 정도를 얻을 수 있고 교통량이 많을 경우 정체 수를 줄이겠끔 긴 주기시간을 주어 포화정도를 높여야 한다.

주기시간을 결정하는 적응 퍼지룰은 〈그림 2〉에 주어지고 그에대한 멤버쉽값도 주어졌다. 퍼지룰에 대한 입력은 교차로의 한쪽도로상의 통과차량(퍼지 룰에서는 "pass_sat"로 표시)과 또다른 도로상의 대기차량(퍼지 룰에서는 "wait_sat"로 표시)의 포화정도(도로의 포화용량에 대한 각 차량들의 수를 규정화한 수치)로서 표시하고 이에 대한 출력은 현재 주기시간

에 대한 신축정도(퍼지 룰에서는 "cycle_change"로 표시)를 표시한다. 최대의 신축량을 현행 주기의 20%로 보아 이퍼지룰을 통해 원하는 포화교통량과 포화정도의 차를 줄여나가는 방향으로 적용하게 된다.

3) 현시간격 결정률

주기 시간이 결정되면 주기 시간내 녹색 시간의 결정으로 현시간격을 결정할 수 있다. 각 현시마다 주기를 결정하기 위하여 입력 변수로 사용되는 함수들은 시간(Time), 통과 차량수(pass_sat), 대기 차량수(cross_sat), 연장시간(출력,Extend)인데 이러한 변수들을 이용 임의의 교차로의 시간대별 차량수들의 데이터를 기본으로 하여 규칙 베이스 조건룰을 설정한다. 전체 퍼지 논리 제어기의 규칙룰과 멤버쉽값은 〈그림 3〉과 같다.



〈그림 3〉 현시 간격 결정 퍼지룰과 멤버쉽

여기서 'Time'은 신호등 지연 시간으로 1개의 조건시간에서 녹색등이 켜진 직후부터 10초까지 5개의 퍼지 멤버쉽값으로 나뉘었고, 'pass_sat'는 녹색등 시간에 통과차량으로 10초 단위마다 초기화하여 최대 10까지 누적차량수를 나타내는데 멤버쉽 함수값에서는 해당 차량수값의 이상 모두 1로 나타내어 5가지로 구분하였고, 'cross_sat'는 적색등 시간에 지연 차량으로 통과차량수의 멤버쉽값과는 달리 1개의 조건시간에서는 10초마다 초기화 하지 않고 누적차량수값으로 멤버쉽값으로 나타내었는데 해당 차량수값의 이하는 모두 1로 나타내어 5가지로 구분하였고, 'Extend'는 신호등 연장 시간 즉, 녹색등이 켜진이후로 연장시간이 얼마인가를 멤버쉽값으로 나타내고 이들의 멤버쉽값들은 'Time'와 같다. 각 현시마다 5개의 중간 시간이 사용되어 전부 25개의 규칙이 사용되는데 각 규칙은 pass_sat, cross_sat 와 출력 Extend 와의 퍼지 관계로 나타내어진다. 접속사 'AND(&)', 'ELSE'는 각각 "min", "max"로 대치되어 그중

에 Time is 'n.small', pass_sat is 'none', cross_sat is 'any'이라면 Extend는 퍼지 식 $T \times A \times Q \times E$ 의 전체 집합으로 나타내어진다. 25개의 제어 규칙이 각현시마다의 최대값을 구하기 위하여 주어지는데 각각 10초, 20초, 30초, 40초, 50초 마다의 조건시간마다 연장시간이 결정되며 최대 연장시간은 60초가 된다. 5개 규칙의 최소값중에서 최대값을 구해 연장시간을 결정하였다.

2. 교통망 분산 제어 알고리즘

교통망 분산제어 알고리즘은 각 교차로의 단독 제어를 필요치 않고 이웃 교차로와의 연계를 충분히 할 수 있는 교통 흐름일 경우 교통 흐름을 끊는수를 최소한으로 줄이는데 목적이 있다. 여기에서는 각 교차로마다의 교통량을 이어받아 통과 시켜 줄 수 있는 분산 계수를 정하고 이를 퍼지룰에 적용시켜 OFFSET 값에 적용시키는것이 근본 알고리즘이다. 우선 각 도로

상의 차량수에의한 주요 흐름을 결정하고 도로 상류쪽에 도착하는 차량군의 도착 시간이 계산 되어지게된다. 이때 지역 제어기의 현시가 녹색 시간일경우 차량군은 지역 교차로를 정지 없이 통과하게된다. 이때 지역제어기들의 현시 연장은 이 중요 차량군이 언제쯤 통과하게 될것인가에 맞추어서 다음 현시 진행 시간을 결정하게 된다 .

교통 흐름의 연관성을 고려 지역제어기의 현 시간격, 주기시간등을 결정하는데는 주요 교통 흐름외에 그 지역 교차로상에 얼마만큼의 현재 교통용량을 포용할 수 있는가를 나타내주는 분산 계수를 구할 필요가 있다. 본 논문의 분산처리에서는 전체제어 시스템의 올바른 결정을 이루기 위해서는 교통망 각 노드들의 상황에 대한 올바른 입력이 있어야 하는데 이것은 각 노드들에 대한 지식과 이들의 메시지 교환을 통해서이다.

그래서 각 노드들은 늘 '문제 상황 해결' 관점의 교차로망의 제어관점을 갖게 되며 제어출력을 얻게 된다. 각 줄들로 부터 이끌어진 추론과 진실이 메시지로써 전달되어지는데 서울시 교차로망의 예를 들어보면 언어변수의 멤버쉽 함수를 교차로망의 도식적인 면과 고려되어 다음과 같이 구성할수 있다.

IF (충정로(노드91) 지역에 매우 심한 정체가 이루어진다) THEN (북쪽 지역의 교통을 원활하게 하라) (2)

IF((북쪽지역으로부터 교통을 원활하게 하면) and (남쪽거리가 자유로우면))THEN(충무로 거리를 통하여 남쪽으로 분산시켜라) (3)

위의 지식과 접수된 메시지를 통한 각 노드를 알아보면

- a)북쪽지역의 교통 혼잡
- b)서북쪽지역의 자유로움

그것들은 멤버쉽 함수로 부터 '규칙 식 2'와 a)메세지의 지식과 접수된것을 가지고 북쪽지역으로부터 교통을 자유롭게 할수있다. 마찬가지로 이러한 지식으로부터 '규칙 식 3'과 수신된 지식 b)로 부터 (충무로 남쪽지역을 통하여 분산시켜라)추론이 이루어지며 교통혼잡지역의 교통을 해소시키는 방향으로 계속 이루어지게 된다. 이러한 교통문제에 대한 퍼지 접근은 불확실성을 다루고 결정을 내리는 도구로서 쓰일수 있음을 보이는데 많은 교통망의 문제해결의 결정 추론을 위해 몇가지 입력상황들을 통해 처리해 나갈수 있는 언어적인 처리과정을 거쳐야 하는데 이러한 지식 구조를 얻기위해 교통상황을 입력시키는 과정은 실세계의 이론적 관측치를 인지적인 것으로 대치시키고자 하는 것이다. 이러한 상황들을 종합하여 다음과 같은 규칙을 설정할 수 있다.

IF (충무로 노드)통과시간이 짧고 통행량이 적고 정체차량수가 적다면
THEN 그노드는 매우 자유롭다. (4)

IF 통과시간이 길고 통행량이 중간이고 지체 시간이 길다면
THEN 그노드는 매우 혼잡하다. (5)

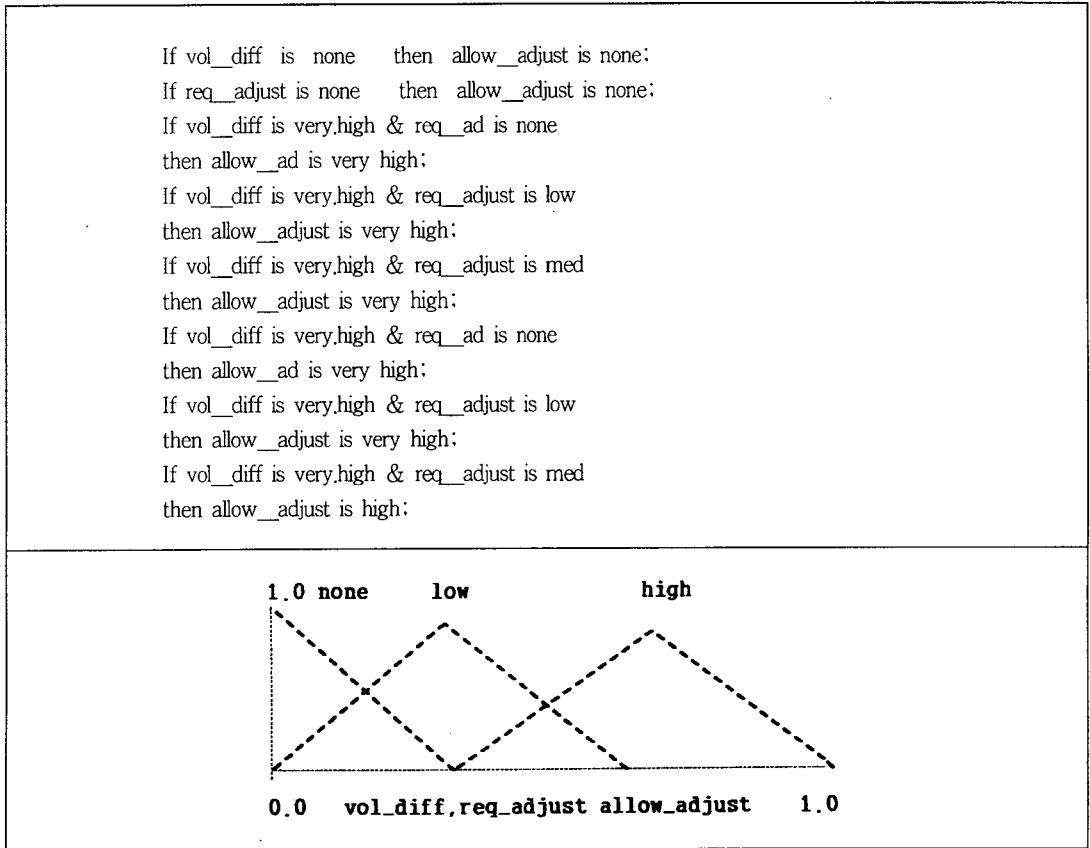
IF 노드 90의 통과시간이 길고 통행량이 많고 정체차량수가 많으면
THEN 노드94의 신호시간을연장하라. ... (6)

IF 노드 k번째 Time이 n.big & pass_sat가 med & cross_sat M이면
THEN 노드 i번째의 Extend를 p.big
..... (7)

이 제어개념을 통해 현행 주기의 OFFSET결정 적용도를 결정 하여야 하는데 현재 주기의 시간을 통해 OFFSET을 결정하는 알고리즘 퍼

지물과 멤버쉽값은 <그림 4>와 같고 해당 퍼지 룰의 입력은 교통 주흐름의 차량수와 현재 진행 차량수의 차이를 규정화한 값(퍼지 룰에서는 "vol_diff"로 표시)과 현재 진행도로 교차로의 진행 차량 포용정도를 나타내는 값(퍼지 룰

에서는 "req_adjust"로 표시)등이고 출력값은 허용 적응도(퍼지 룰에서는 "allow_adjust"로 표시)로서 많은 단계의 값을 갖게하여 현행 현시를 변화시키는데 최소한의 영향을 미치게 하였다.



<그림 4> 퍼지 분산 제어 결정룰과 멤버쉽값

3. 적응제어 알고리즘

단독교차로의 차량 통행 성능은 연속적인 교차로의 차량통행 성능에 영향을 미친다. 지역제어기만의 운용은 연속적인 교차로의 통행에 제한을 주는 경우가 있으므로 교차로의 연속적 통행(연동)을 고려한 제어기의 알고리즘이 필

요한 실정이다. 보통 교차로를 통과하는 차량수가 다소 적은 조건하에서는 두 개의 연속적인 교차로의 신호를 조절하는 것이 유효함을 알 수 있고 차량수가 매우 많거나 또는 매우 적은 경우에는 유효하지 않을뿐 아니라 좌회전 차량수가 많을 경우 지체시간이 많이 증가한다.[15] 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 "통행우선 제어 알고리즘"과 "분산제어 알고리즘" 제어기

를 함께 사용하는 방법이 있는데 이는 두 제어기의 교환시점을 적절하게 맞추는 “적응 제어 알고리즘”을 필요로 한다.

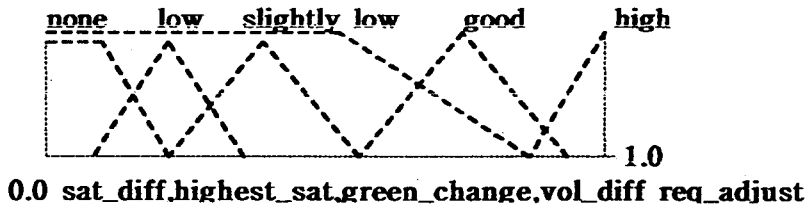
적응제어 알고리즘의 적응 파라메타로 현시간적 파라메타(phase split) 와 오프셋 파라메타(offset adjustment)를 정하는 퍼지 규칙을 통해 추론을 한다음 이 두 파라메타의 평균값을 퍼지 그레이드(fuzzy grade) 값으로 하여 0.5보다 클 경우 분산제어 알고리즘으로하고 0.5보다 작을 경우 통행우선 제어 알고리즘을 적용한다. 현시간적은 서로 다른 방향의 진입로의 포화도를 같은정도로 유지시키기 위해 제어되는데 그에 대한 입력으로는 동-서 방향의 최고포화도와 남-북 방향의 최고포화도의 차(“sat_diff”)와 임의의 진입로의 최고포화도(“highest_sat”)이고 이에대한 출력은 현행 동-서 방향의 녹색시간의 양으로 표시된다. 즉 동-서 방향의 녹색

색시간이 줄어들 때는 남-북 방향의 녹색시간의 연장을 가져온다. 오프셋 파라메타는 교통의 주 흐름의 정체수를 가장 적게 하기 위한 것인데 제어기는 우선 진입로 차량을 계수하여 교통의 주 흐름을 계산하여야만 한다. 상위 교차로의 다음 녹색시간을 근거하여 상위 교차로에서의 차량군이 도착할 시간을 계산하여야만 하는데 녹색시간을 근거로 하여 지역 제어기의 적응시간이 다음 현시변화에 맞추어 진다. 이에 대한 퍼지 규칙과 멤버쉽 값이 <그림 5>에 주어졌다. 구책의 입력값을 주방향과 그외의 방향과의 평균 교통량의 차(“vol_diff”)이고 출력은 적응되어지는 시간의 양으로 표시되어진다. 이러한 규칙이 교통의 주 흐름 방향과 관련되어 운용되어지면 큰 효율이 있는한 적응도의 범위가 크게 허용되어지고 또한 현행 신호제어프로그램의 방해 없이 적응도가 산출 될 것이다.

```

if sat_diff is p.big & highest_sat is saturated then green_change is p.big;
if sat_diff is p.big & highest_sat is high then green_change is p.big ;
if sat_diff is p.big & highest_sat is not high then green_change is p.med;
if sat_diff is n.big & highest_sat is saturated then green_change is n.big;
if sat_diff is n.big & highest_sat is high then green_change is n.med;
if sat_diff is p.med & highest_sat is saturated then green_change is p.med;
if sat_diff is p.sml & highest_sat is not high then green_change is n.sml;
If vol_diff is p.big & req_adjust is high then allow_adjust is p.high;
If vol_diff is p.sml & req_adjust is sml then allow_adjust is n.sml;

```



<그림 5> 적응제어 퍼지룰과 멤버쉽 값

V. 모의실험 및 고찰

모의실험은 6개의 도로로 구성된 작은 교차로망을 <그림6>과 같이 구성하였는데 평균 차량도착률은 도로끝에 표시하였다. 매 모의실험 시간 간격마다 각 도로의 차선마다 난수가 발생하여 배정된 차량 도착률과 비교하여 차선의 처음 부분의 차량발생부에 더하여 질것인가를 결정한다. 모의 실험 모델을 간략화 하기 위하여 다음과 같은 가정하에서 출발한다. 1) 정지할 때를 제외한 모든 차량들은 각 도로마다 명시된 제한 차량 속도로 늘 움직이게 된다. 2) 차량은 차선을 변경할 수가 없다. 3) 차량은 회전 할 수가 없다. 차량 계수기는 각 교차로의 모든 차선에 설치 되었다고 가정한다. 주어진 접근로에 따라 주어진 녹색 현시가 시작되는 그시간 부터 녹색주기동안의 교차로를 통과하는 차량이 계수된다. 각 접근로의 포화정도와 녹색주기 길이는 계수된 차량수로부터 계산되어진다. 각 현시가 바뀌는 순간부터 다음현시의 길이를 현재의 주기시간과 현시간격값을 가지고 계산하게 된다.

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 다음과 같다.

각각 1시간동안 이들 평균차량에 대해서 교통 차량의 유무를 판단하여 다음과 같은 모델식을 통하여 계산이 이루어지게 되는데 이 식들의 수치는 랜덤신호의 유무를 계수하여 모의 실험식의 기본을 이루게 된다 즉 1사이클에서 녹색등시간에 차량이 완전 소통 되지않고 QG 라는 차량수가 남게 되면 적색등 시간에 적재 차량 QR 은 식(8)과 같이 된다.

$$QR = QG + \sum_{n1=1}^n qn1 \dots\dots\dots (8)$$

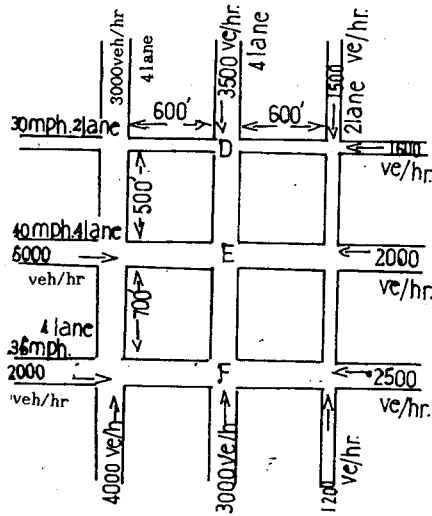
여기서 qn1은 남북도로상의 진입하는 차량수로서 좌회전 차량을 포함한다.

다음으로 녹색등 시간에 같은 교차로에서 적체되어 지는 차량수 QG는 포화상태의 흐름비를 S라 하면 식(9)이고 여기서 QR은 녹색등이전의 적색등시간에 진입로에 정체된 차량수로 좌회전 차량수가 더하여진 숫자이다. n은 각 초 단위로 계수됨을 의미한다.

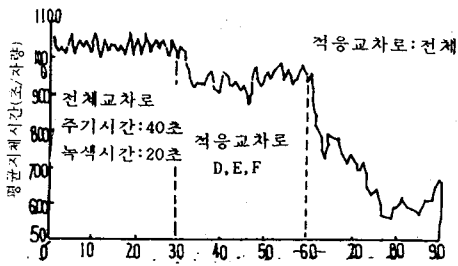
$$QG = QR + \sum_{n1=1}^n qn1 - S \times n) \dots\dots\dots (9)$$

위와 같은 식을 통해 각 현시단계가 바뀌는 순간마다 지체시간을 계수하여 한 주기 지체시간을 계산 하였다.

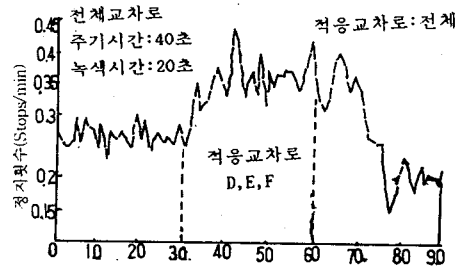
퍼지 결정 규칙은 바뀌는 다음현시의 시간을 조정하기위하여 오프셋 조정 규칙에 의해서써지며 <그림7>은 교차로망상에서의 시간(초)당, 차량당 대기시간을 시간함수로서 표시하고 있다. <그림8>은 모든 차량에의해 일어나는 분당 정지수를 나타내고 있다. 이 모의실험의 처음30분동안은 모든 교차로써의 고정주기시간이 40초를 갖게되며 그중 녹색주기시간은 20초이고, 현시 간격의 시작을 같게한다. 30분이 지나서는 D,E,F 교차로에서는 퍼지 결정 규칙에의해 시간 적응 파라메타를 조정하도록 하였다. 또한 60분이 지나서는 모든 교차로에서 적응 파라메타를 가동 하였다. 대기시간의 개선은 3개의 교차로만 적용화가 되었을때가장 작았는데 이는 차량당 정지수가 3개의 교차로망에서 적용화가 되었을때가장 많은것으로도 이를 말해주고 있다. 이것은 적은 교차로에서 결정된 주기시간(약20초)이 고정주기시간(40초)을 사용하는 교



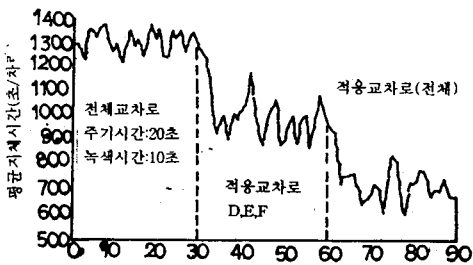
<그림 6> 모의 실험 교차로망



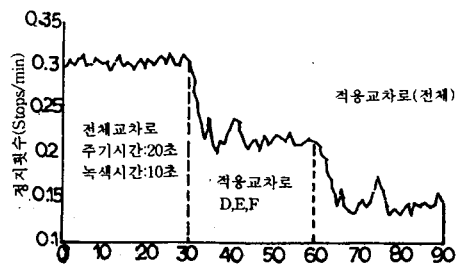
<그림 7> 지체시간(초기주기시간 : 40초)



<그림 8> 정지횟수(초기주기시간 : 40초)



<그림 9> 지체시간(초기주기시간 : 20초)



<그림 10> 정지횟수(초기주기시간 : 20초)

차로와 매우 다르기 때문이다. 이와같은 주기시간의 상이함이 적은 교차로와 고정주기교차로와의 완전한 연계가 이루어 지지 않기 때문이다. 여기서, 지역교통흐름을 원활하게하기 위한 시간적응화 과정이 전체교통흐름을 방해되는 방향으로 작용하였기 때문이다. 모든 교차로에서 적응화 과정이 진행된다면 모든 교차로는 비슷한 값(약20초)의 주기시간을 얻게되어 대기시간과 정지수에 있어 많은 감축을 가져온다. <그림9>과 <그림10>은 같은 상황의 모의실험으로 얻어진 결과를 나타내고있으니 전보다 다른점은 모든 교차로에 있어 10초의 녹색시간 간격과 20초의 초기 주기시간으로 시작을 하였기 때문에 3개의 교차로만에서만 퍼지제어가 이루어져도 지연시간과 정지수에 있어서 많은 감축을 가져옴을 알 수 있다. 이것은 고정주기 교차로에서 주기시간이 적응제어 교차로의 주기시간과 잘 조화가 이루어지기 때문이다. 공통 주기시간을 공유하는 것이 3개의 적응교차로 만이라도 전체시스템의 효율을 높이기 때문이다.

Ⅶ. 결론

본 논문에서는 적응교통제어기에 퍼지결정률의 적용을 시도하였다. 교통류의 제어방식의 계층은 기능적(Operational), 부분적(Tactical), 전체적(Strategic)으로 구분할 수 있는데 기능적방식은 각 교차로의 지체시간을 어떻게 줄일 수 있는가에 역점을 두고 부분적 방법은 몇개의 교차로를 묶어 하나의 교차로의 주기뿐만 아니라 이웃교차로와의 연동을 고려하여 주기를 결정하는 방법이라 한다면 본 논문을 통해 많은 단계의 교통 알고리즘을 적절히 혼용한 가운데 좋은 결과를 얻을 수 있음을 보였다. 모의 실험 결과에서도 보았듯이 몇개의 지역제어기의 적

용 제어화의 효과가 나머지 제어기의 주기시간과 크게 틀리게 나타나면 그 효과가 크게 나타나지 않음을 보여주고 있다. 이럴 경우에는 적응제어기의 주기시간을 교통 주흐름의 주기시간에 고정시키는 것이 더욱 교통흐름에 효과적임을 나타낸다.

본 연구에서 개발된 모형의 퍼지 규칙의 데이터 베이스 구성을 위해 실지 각 교차로망의 경험적이고 적절한 규칙의 설정에 필요한 적용 규칙 생성 알고리즘의 연구가 선행되어야겠고 모든 교차로의 공통 변수 주기 시간 파라메타를 위해 링크 통행시간과 정체차량수 예측뿐 아니라 비정상적인 상황 즉, 인근 교차로의 교통사고여부와 도로공사의 확대정도, 돌발적인 환경변화등의 정도를 새로운 유니트로 추가하는 것이 정확한 퍼지 적용 알고리즘과도 연결되는 사항이다.

퍼지 제어 교통류 적응화의 효과적인 결과를 얻기 위해서는 각 노드의 지역적인 제어와 이웃교차로와의 많은 메시지를 교환하여야 하며 이는 메시지의 거의 대부분이 자연적인 언어로서 이루어져야 하는 퍼지제어에 있어서는 좋은 효율을 얻기 위해서 자연적 언어의 멤버쉽 값 추론이 필요하며 각 지역제어기의 국소적 문제 해결의 좋은 결과를 가져오는 인지방식의 지역 교통신호처리 알고리즘 또한 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Gazis P.C., Potts R.B., (1965) Proc. 2nd Symposium on Theory of Road Traffic Flow, (O.E.C.D) pp221
- [2] Longley D., (1969), Trans. Sci., 2, pp391
- [3] Miller A.J., (1963) "A Computer Control System for Traffic Networks." Proc., 2nd

Int.Symp.of Traffic Flow

- [4] M.Drouin,H.(1983) "A New Approach for Real -Time Control of Urban Traffic Networks",IFAC Control in Trans. Syst. Germany. pp237
- [5] R.Camus,(1983) "Optimal Fixed-Time Vehicular Control For Multi-Junction Nodes Using Mathematical Programming", IFAC Cont. in Trans.Syst.,Germany, pp289-296
- [6] Shepherd,S.P,(1991) "The development of a real-time control strategy to reduce blocking-back during oversaturation using the microsimulation model NEMIS. Proceedings of the 24th ISATA International Symposium on Automotive Technoogy and Automation, Italy, pp51-158
- [7] Pappis,C.P;Mamdany,E.H.(1977), "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction", IEEE, Trans.Syst.Man Cybern.,SMC-7, p707-717.
- [8] 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
- [9] 진현수(1993), "퍼지동정 알고리즘을 이용한 교차로 교통신호동제어의 최적 주기 결정, "전자공학회지,제30권,6호, p100-108.
- [10] 진현수(1996), "퍼지논리를 이용한 최적교통신호 현시설계에 관한 연구", 교통공학회지,제14권 제 1호, p117-132
- [11] 홍유식(1995), "Prevention of Spillback Using Fuzzy Control at the Traffic Intersection", 34th SICE Annual Conference,Hokkaido University,1995,July 26-28, p1321-1326
- [12] Wallace,C(1988),TRANSYT-7F User's Manual. Prepared for FHWA by Transportaion Research Center,University of Florida,FL
- [13] Lowrie,P.(1990).SCATS - A Traffic Responsive Method of Controlling Urban Traffic.Sales Information brochure published by Roads & Traffic Authority, sydney, Australia.
- [14] Luk,J.(1984). Two traffic-responsive area traffic control methods:SCATS and SCOOT. Traffic Engineering and Control, PP. 14-20.
- [15] M.Nakatsuyama, H.Nagahashi and N.Nishizuka, "fuzzy logic phase controller for traffic junctions in the one-way arterial road", IFAC 9th world congress, PP2865-2870(1984)