

論文2003-40CI-4-1

최적교통신호등

(Optimal Traffic Signal Light)

洪 裕 植 *

(You Sik Hong)

요 약

제한된 도로에 급증하는 자동차로 인해서, 기존의 교통신호등은 최적주기기능을 상실하였다. 기존의 교통신호등은 승용차 환산계수, 오프셋, 교차로 길이 등을 고려하지 않았으므로 기존 신호등의 30~45%가 교통현시와 일치하지 않는다. 본 논문에서는 기존 교통신호등의 단점을 알아보고, 퍼지 규칙을 이용하여 교차로에서의 평균주행속도와 평균대기시간을 개선한다. 뿐만 아니라, 인터넷을 이용해서 위험한 도로, 공사 중인 도로 및 최적의 교통상황을 예보하는 기능을 제공할 수 있도록 하였다.

Abstract

Increased vehicles on the restricted road, the conventional traffic light losses the function of optimal cycle. The conventional traffic light dose not consider passenger car unit ,offset, and length of traffic intersection. As a result, 30-45% of conventional traffic cycle does not match the present traffic cycle. In this paper, we study the disadvantage of conventional traffic light and improve the vehicle average waiting time in the traffic intersection and vehicle average speed using fuzzy logic. Moreover, it will be able to forecast the optimal traffic information, road under construction and dangerous road using internet.

Keywords : Offset, Spiiback, Vehicle waiting Time, Optimal Traffic Information, Fuzzy Traffic Signal Light

1. 서 론

기존의 교통신호시스템은 대형차량의 구성비가 적고 과포화 상태가 적었던 1960년도에는 년별 월별 일별로 교차로를 통행하는 평균차량 data를 미리 입력 시켜서 교통신호주기를 생성하는 Time of Day(T.O.D.)방식도 큰 문제가 없었으므로 Webster 방식이나, Box Jenkins 혹은 Kalman Filter을 이용한 교통예측방법과, Box-Jenkins Process에 Moving Average를 적용한 예측모형을 이용하였다^[1-3]. 현시별 유효 녹색시간(Effective

Green Light Time)은 도착교통량을 모두 수용해서 주 차선(Critical Lane Volume)만의 신호주기를 구하는 Green-Shields의 방법과 도착 교통량의 처리여부에 관계없이 차량의 총 지체를 최소화 하는 Webster방법의 두 가지가 있으나, 이러한 방법은, 한정된 도로에서의 통계적으로 적용 될 뿐, 시시각각으로 변화하는 차량의 증가, 감소, 대기 차량의 길이를 예측할 수 없으므로 기존의 신호등은 과포화상태에서는 다음현시에 출발 지연 시간 및, 승용차대기시간을 유발시킨다^[4,5]. 본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용하여 교차로 차선의 폭, 교차로의 길이, 포화 교통량, 도로의 경사도(오르막, 내리막길), 차량 진행속도 등이 같지 않은 어느 도로에서도 최적의 신호주기를 산출하였다^[6,7].

* 正會員, 尙志大學校 컴퓨터情報工學部
(Dept. of Computer & Information Engineering, Sangji Univ.)
接受日字:2003年2月3日, 수정완료일:2003年6月20日

최초의 교통신호기는 1868년 영국 런던에서 처음 사용되었으며, 이 장치는 신호기등에 ARM을 매달아서, 이를 수동식으로 올리거나, 내림으로서 정지, 진행 및 주의 신호를 나타내었다. 교통신호기는 크게 고정주기 신호기(Pre timed Signal Controller)와, 교통대응신호기(Traffic Responsive Controller)의 두 가지로 나타낼 수 있다.

교통신호기를 알맞게 설치하면, 교통량이 많은 도로를 횡단하는 차량이나, 보행자를 안심하고 횡단시킬 수 있으며, 인접 교차로를 연동시켜서 일정한 속도로 긴 구간을 연속 진행시킬 수 있는 장점이 있으나, 교통신호기가 부적절하게 설치되었거나 차량의 많고 적음에 따라서 신호주기를 생성하지 못할 경우에는 불필요한 지체로 인해서, 평균주행 속도가 줄어들고 연료 소모 및 승용차 대기시간을 유발시킨다.

최근 자동차의 급증으로 대도시의 자동차 정체 현상은 심각한 문제로 대두되고 있으며, 96년 이후, 총 물류비 64조원 중에서 총 수송비가 42조 4 천억원, 교통 혼잡비용이 16 조원으로 매년 증가하고 있는 추세이다.

갑작스러운 교통량의 증가는 출퇴근시간에 교차로의 자동차 정체구간이 많아지고, 교차로에 진입하는 대형 차량 및 교차로 차선 및 교차로 길이의 상이한 특성으로 인해서 녹색신호시간에도 차량진입이 불가능한 경우가 자주 발생한다.

이러한 경우에는 최단경로 탐색기능이 상실되고 승용차 출발 손실 시간이 발생 하게 된다. 이러한 손실시간을 최소화하려면 퍼지규칙을 이용하여 교차로의 특성에 맞는 최적의 녹색시간을 산출해야 된다^[9-13].

그러므로, II장에서는 기존 신호등의 문제점을 알아보고 III장에서 최적신호주기 산출 및 퍼지 교통신호등 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 교차로에서 발생하는 승용차 대기시간을 최소화하고 도로의 급커브 구간이나 정체구간을 표시해주는 퍼지 교통 신호등의 시물레이션 소개하고, V장에서는 기존신호등과 퍼지 교통신호등의 장단점을 비교 분석한다.

II. 교통 신호주기 산출

요즈음과 같이 승용차 대기시간을 최소로 하기 위해서는 교차로의 총 접근지체를 산정 하여야 하며, 이는 식 (1)로 산정 할 수 있다.

$$d = 0.38x \frac{c(1-u)^2}{1-ux} + 173[(x-1) + (x-1)^2 + \frac{12x}{c}] \quad (1)$$

여기서, d = 교차로 정지지체(초/대)

u = 유효녹색신호 시간 비(g/C)

C = 주기 장(초),

x = v / c,

c = 교통용량(vph)

Webster 공식에 의하면, 신호체제를 최소로 하는 최적 주기 장(Cop)은 식 (2)에 근사 한다는 것을 알 수 있다.

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - \lambda} \quad (2)$$

그러나, 식 (2)의 최적 주기장은 교차로의 포화도가 높게 되면, 과도한 값으로 되어, 앞 막힘 현상이 발생하게되고 승용차대기시간 및 평균주행속도를 유발하기 때문에 퍼지 규칙을 이용하여 교차로 특성에 맞는 최적의 신호주기를 생성해야한다.

요즈음과 같이, 교통상황을 예측할 수 없고, 교차로에 많은 차량이 있을 때에는 녹색신호주기 내에 하위교차로를 출발한 차량이 모두 상위교차로에 진입할 수 있는 최적의 교통신호주기를 식 (3)과 식 (4)처럼 생성해야만 앞 막힘 현상을 줄일 수 있다.

$$[Gin(t)] = [\pi n(t), \pi n(t), \pi n(t)] * [a1(t)] + [v(t)] \quad (3)$$

$$[Gst(t)] = [ps(t-1), ps(t-1), ps(t-1)]$$

$$* [a2(t)] + [v(t)] \quad (4)$$

단, $Gin(t)$: 통과차량 대기행렬 길이를 고려한 최적녹색시간

$Gst(t)$: 누적차량 대기행렬 길이를 고려한 최적녹색시간

$P(t)$: 하위교차로 예상통과차량수

$a(t)$: 하위교차로 예상통과차량길이

$v(t)$: 상위교차로 포화상태 (누적차량 대기행렬길이)

그럼 1에서 보는 것과 같이, 똑같은 예상통과 차량이 하위 교차로를 출발하여 상위교차로에 진입할 때에, 상위교차로의 차선 수나 교차로의 길이가 큰 경우에, G(t)는 식 (5)와 같이 표시된다.

$$\begin{vmatrix} G1(t) \\ G2(t) \\ G3(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} p1(t-1) \\ p2(t-1) \\ p3(t-1) \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} w1(t) \\ w2(t) \\ w3(t) \end{vmatrix} \quad (5)$$

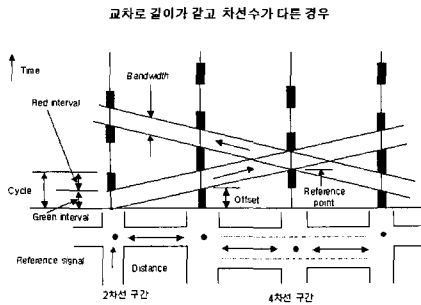


그림 1A. 상위교차로와 하위교차로를 고려한 최적녹색 시간

Fig. 1A. Optimal green time considering on lower and upper traffic intersection

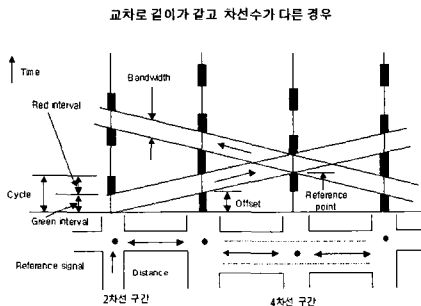


그림 1B. 상위교차로와 하위교차로를 고려한 최적녹색 시간

Fig. 1B. Optimal green time considering on lower and upper traffic intersection.

- 여기서, $G1(t)$: 최적 녹색시간 차선 1
- $G2(t)$: 최적 녹색시간 차선 2
- $G3(t)$: 최적 녹색시간 차선 3
- $p(t)$: 예상 통과 차량 대수
- $w(t-1)$: 교차로 차선 수.

뿐만 아니라, 상위교차로와 하위교차로의 길이가 같지 않기 때문에, 식 (6)과 같이 교차로 길이를 고려한 최대 교차로 포화용량을 구해야만 한다.

$$\begin{vmatrix} G1(t) \\ G2(t) \\ G3(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} p1(t-1) \\ p2(t-1) \\ p3(t-1) \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} L(t) \\ L(t) \\ L(t) \end{vmatrix} \quad (6)$$

여기서,

- $G1(t)$: 소형 교차로길이를 고려한 최적 녹색 시간
- $G2(t)$: 중형 교차로길이를 고려한 최적 녹색시간
- $G3(t)$: 대형 교차로길이를 고려한 최적 녹색시간
- $p(t)$: 예상 통과 차량 대수
- $L(t)$: 교차로 길이

기존의 교통신호 주기 방법은 교차로의 차선 수 및 길이를 고려를 안 했기 때문에 교차로에 차량이 많이 진입하는 출퇴근시간에는 교통신호주기가 현시와 맞지 않고 자동 항법장치를 이용해도, 최적의 우회경로조차 자동차가 지 정체 구간(10~20Km)을 검색함으로써 평균주행속도를 더 이상 개선 할 수 없게 된다.

상위교차로에 대기행렬이 생성되고, 하위교차로의 포화상태가 1에 가까워지면, 상위교차로의 통과차량이 한 주기 내에 하위교차로에 모두 진입 할 수 가 없게된다. 다시 말해서, 상위교차로의 대기행렬길이가 하위교차로의 교통수요 용량에 근접하거나, 초과 할 때에는 승용차 대기시간 및, 지체, 통과차량속도가 현저하게 떨어지게 된다.

교통 속도 및, 대기행렬길이는, 앞 막힘 현상을 예방하기위해서 상당히 중요한 요소이다. 특히, 과포화에서 교통신호 매주기마다, 계산되는 실 시간제어시스템에서는, 교차로길이 및 차선수가 같지 않기 때문에 3장 4장에서 설명할 것처럼 인접한 상위교차로 및 하위교차로 위 퍼지 규칙을 이용하여 서로 다른 교차로 보정계수를 구해야만. 최적의 녹색신호주기를 생성할 수 있다. 기존의 신호주기결정알고리즘은 다음과 같다.

- 1 단계 : 검지기로부터 1차 처리된 검지기별 포화도 (Degree of Saturation)을 입력하여, 각 이동류별로 평균 포화도를 계산해서 각 접근로의 직진 평균포화도 중에서 최대포화도(Maximum Degree of Saturation)을 계산한다.
- 2 단계 : 다음신호주기에 필요한 신호주기(Required Cycle Length)를 구한다.
- 3 단계 : 다음신호주기를 생성하기 위해서, 신호주기(C next)는 현재주기(Current)와 구해진 요구 주기(C required)와의 차를 비교하여 구한다.

$(C \text{ required} - C \text{ current}) \geq \Delta C$ 이면

$$C \text{ Next} = C \text{ current} + \Delta C$$

$(C \text{ required} - C \text{ current}) \leq -\Delta C$ 이면

$$C \text{ Next} = C \text{ current} - \Delta C$$

$-\Delta C < C \text{ current} - C \text{ required} < \Delta C$ 이면

$$C \text{ Next} = C \text{ required}$$

여기서

ΔC = 주기의 최대 변화폭

$$Y = \frac{q * L}{s} \quad (7)$$

$$x = \frac{qC}{gs} \quad (8)$$

여기서, q : 한 접근로의 차량환산계수(PCU)

L :차량길이(Meter)

s : 한 접근로의 포화교통량(Meter)

C : 주기 길이(초)

g :유효녹색시간(초)

III. 최적 교통 신호주기

최근 예측할 수 없는 차량의 갑작스러운 증가로 인해서 통과차량속도, 승용차 환산계수 등이 기존의 교통 대응모드와 큰 차이가 발생할 경우에는 최적의 offset 값을 산출하기가 어렵게 된다. 그러므로, 교통효율을 높이기 위해서는 교통량이 많은 방향에 우선권을 부여하여 앞 막힘 현상 방지 및, 승용차대기시간을 최소화 하는 최적의 offset을 설정하도록 하여야 한다. 또한 교차로의 offset 결정은 하위교차로를 통과한 차량중 상위 교차로에서 녹색신호를 받지 못한 잔여차량 접근로상의 대기행렬에 의해 매 현시마다 변하게 된다. 이러한 대기행렬은 교차로의 offset 결정에 있어서 고려해야 할 중요한 변수이며, 대기행렬이 접근로의 길이보다 클 경우에는 spill back 현상이 발생하기 때문에 대기행렬이 교차로를 점유하게 된다. 이러한 현상은 부도로의 통행까지 제한하게 되어 인근지역 전체의 소통상태를 악화시키게 된다. 따라서 이러한 혼잡확산을 방지하기 위해서는 대기행렬을 고려하여 앞 막힘 현상 방지 및 승용차 대기시간을 최소화 하는 최적의 offset을 결정해야 한다. 교통량이 증가하여 대기행렬의 길이가 길어지면 역 연동(reverse progression)을 선택하여야 한다. 즉 상위교차로의 녹색신호가 시작되기 전에 먼저 하위 교차로의 녹색시간이 시작되게 하여 앞 막힘 현상을 방지하여야한다.

$$D_{rs} = 900TX^2 \{ (X-1) + [(X-1)^2 + (4X/CT)]^{1/2} \} \cdot (3600/v) \quad (9)$$

여기서,

D_{rs} : 균일지체시간과 포화상태에 따른 지체시간의 합

T : 단위시간(일반적으로 60분)

X : 포화 교통류 율(pcu/hr)

v : 링크의 교통량(pcu)

C : 신호주기(초)

트랜짓-7F 모형내에서 한 링크의 총 지체시간은 주어진 시간 동안 링크 내에 있는 차량에서 발생하는 지체시간의 합으로 계산된다. 즉, 균일지체시간과 불 균일 지체시간 및 포화상태에 따른 지체시간의 총합이 총 지체시간이다. 식 10은 트랜짓-7F 모형에서의 총 지체시간을 나타낸 것이다.(Federal Highway Administration, 1991)

$$D = D_u + D_{rs} \quad (10)$$

여기서,

D : 총 지체시간(대-시간/시간)

D_u : 균일지체시간(대-시간/시간)

D_{rs} : 불 균일지체시간과 포화상태에 따른 지체시간의 합(대-시간/시간)

각 교차로의 차선을 통과한 차량의 형태 및 대수를 검지하여 최적의 녹색신호주기를 예측한다. 혹시, 통과 차량의 형태(대형, 소형)을 잘못 판단하거나, 직진차량 및 회전차량을 정확히 산출 못할 경우에는 현재 -1 의 신호 주 기에서 End-lag time, 앞 막힘 현상의 발생을 검사하여 다음신호주기의 녹색시간을 보정한다.

앞 막힘 현상을 줄이고 평균주행속도를 개선하기 위해서는, 교차로의 거리가 일정하지 않고 각 차선에서의 포화차량의수, 누적차량의수, 대기차량의 수가 다르기 때문에 각 현시별 유효녹색 시간(Effective Green light Time)은 Webster방법에 의해서 최적주기(optimal signal cycle) C_0 를 구할 수는 있으나, 한정된 도로와 한정된 차량만 통계적으로 적용될 뿐 유동적인 차량의 data에는 적용할 수 가 없는 문제점이 발생한다.

본 논문에서 사용된 퍼지 규칙을 이용한 최적신호등 알고리즘은 다음과 같다.

단계1 : $t=t_0$ 이고 $p(t-1)$ 를 루프검지기를 통해서 정확하게 파악한다.

단계2 : $p(t-1)$ 의 통과차량을 승용차 환산계수 $a(t)$ 를 이용하여 최적의 대기행렬길이를 구한다.

단계3 : 직진 및 회전 공용차선일 경우에는 $c(t)$ 를 이용

해서 직진차량 및 회전차량을 계산한다.

직진 전용차선이나 회전 전용차선이 있을 경우에는 p(t-1)과 a(t) 승용차 환산계수를 이용해서 대기행렬길이를 산출한다.

$G(t)=p(t-1)*c(t)$: 직진 및 회전 공용차선일 경우

$G(t)=p(t-1)*a(t)$: 직진 및 회전 전용차선이 있을 경우

단계4 : $G(t) = p(t-1) + w(t)$ 와 $G(t) = p(t-1) + L(t)$ 을 이용하여 똑같은 예상통과 차량이 하위 교차로를 출발하여 상위교차로에 진입할때, 상위교차로의 차선수나 교차로의 길이가 큰 경우와 작은 경우를 고려하여 <그림 2>와 <그림 3>에서 같이 최적의 녹색대기행렬길이 G(t)를 구한다.

단계5 : G(t)와 예상 통과시간을 곱하여 최적의 녹색신호주기를 산출한다.

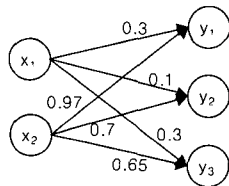


그림 2. 교차로 길이 보정계수

Fig. 2. Fuzzy conversion factor for length of traffic intersection.

	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	1.0	0.0	0.2	0.0
x_2	0.0	1.0	0.3	1.0
x_3	0.2	0.3	1.0	0.4
x_4	0.0	1.0	0.4	1.0

그림 3. 교차로 퍼지 관계

Fig. 3. Fuzzy relationship of traffic intersection.

<그림 2>에서 보는 것처럼 주기 및 최적녹색시간을 구하기 위해서는 교차로 특성에 맞는 교차로 길이와 차선수를 고려하여, 실시간 교통제어 시스템 최대주기 길이의 예측이 가능하게 된다.

즉, 교차로의 형태나 차선 수에 의해서, 같은 통과차량이 진입을 했을 경우에도 최적의 신호주기를 구하기 위해서는 대기차량의 길이를 고려하여 신호주기를 산

출해야 한다.

$$Gt3 = Nveh * 3 * Cflane + SDT$$

$$+ roadconversionTime$$

$$LostTmeG3 = green - 1(Pg) + yellowtime(Pg + 1/2Py) + redtime(Pg + Py + 1/2Pr)$$

$$Gt4 = Nveh * 3 + \nabla ayTime$$

$$LostTmeG3 = green - 1(1/4Pg) + yellowtime(Pg + 1/4Py) + redtime(Pg + Py + 1/4Pr)$$

$$Gt5 = Nveh * 3 * CFLane + SDT$$

$$+ roadconversiontime$$

$$LosttmeG3 = green - 1(1/4pg) + yellowtime(1/3pg + 1/4Py) + redtime(1/3Pg + Py + 1/4Pr)$$

단,

Gt1, Gt2...Gt5 : 연동을 고려한 최적녹색 시간

NVEH : 통과 차량 대수(Number of Vehicles)

CFLane : 차선 보상계수(Conversion factor of Lane)

SDT : 출발 지연시간

Road conversion Time : 교차로 형태 보상시간

LostTme : 승용차 대기시간

PG : 예상 녹색시간 Probability of Green Time

PY : 예상 황색시간 Probability of Yellow Time

PR : 예상 적색시간 Probability of Red Time

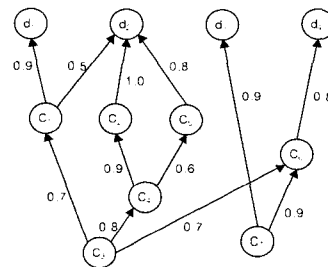


그림 4. 교차로 퍼지보정계수

Fig. 4. Fuzzy Conversion factor of traffic intersection.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
d1	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
d2	0.0	1.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.8
d3	0.0	0.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5
d4	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0
d5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.9
d6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.7
d7	0.0	0.8	0.5	0.0	0.9	0.7	1.0

$$M = \begin{matrix} & C1 & C2 & C3 & C4 & C5 & C6 \\ \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.7 \\ 0.0 & 1.0 & 0.4 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.8 \\ 0.0 & 0.4 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.9 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.7 \\ 0.0 & 0.8 & 0.5 & 0.0 & 0.9 & 0.7 & 1.0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

만약, <그림 4>와같이 q(예상 통과차량 대수 and 교차로 만약, <그림 4>와같이 q(예상 통과차량 대수 and 교차로 안전 조건)= <0.6> AND <0.8>이라면, 다음과 같은 녹색신호연장 주기 결과를 얻을 수 있으며 <그림 5>는 최적교통 신호주기 산출결과를 보여 주고 있다.

$$\begin{aligned} RSV*(d1) &= \text{Max}[RSV1(d1)=0.9, RSV2(d1)=0.9]=0.9 \\ RSV*(d3) &= \text{Max}[RSV1(d3)=0.4, RSV2(d3)=0.8]=0.4 \\ RSV*(d4) &= \text{Max}[RSV1(d4)=1.0, RSV2(d4)=0.3]=0.3 \\ RSV*(d5) &= \text{Max}[RSV1(d5)=0.6, RSV2(d5)=0.4]=0.4 \\ RSV*(d7) &= \text{Max}[RSV1(d7)=0.4, RSV2(d7)=0.1]=0.1 \end{aligned}$$

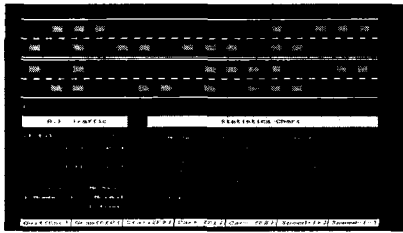


그림 5. 교통신호주기 시뮬레이션
Fig. 5. Traffic signal cycle situation simulation.

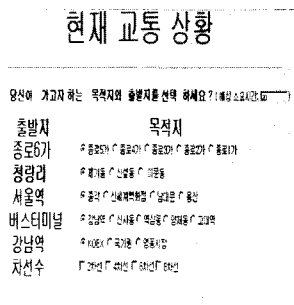


그림 6. 교통상황 시뮬레이션
Fig. 6. Traffic situation simulation.

이러한 퍼지 보정계수는 고정신호등 현시를 30초 기준으로 했을 경우, 퍼지 함수를 이용한 최적 녹색시간을 산출할 수 있다. 다시 말해서, 상위교차로 길이가 100 meter 이고 하위교차로의 길이가 100 meter 인 경

우에는 0.5의 퍼지 보정계수를 갖고, 50 meter 이하인 경우에는 0.3이하의 값을 갖고, 150 meter 이상일 경우에는 0.7 이상의 퍼지값을 갖게 되고 이러한 교차로의 퍼지 보정계수와 교차로의 급커브구간 0.7이상, 정상구간은 0.5 의 퍼지 보정계수를 갖고 완만한 구간은 0.4 이하의 값을 입력하면 교차로의 급커브 구간 및 차선수와 대기행렬길이를 고려한 예상소요시간을 <그림 6> 처럼 시뮬레이션 할 수 있게 된다.

IV. 퍼지 교통신호등 시뮬레이션

<그림 5>와 <그림 6>은 교차로 보정계수 및 퍼지 규칙을 이용하여 인터넷에서 출발지와 목적지지를 선택하면 교통상황과 예상도착시간을 안내해주는 시뮬레이션 결과를 보여 주고 있다.

그러므로 본 논문에서는 15초 동안 (녹색현시-1) 시간에 검지기를 통과한 예상 대기행렬을 10초 간격으로 퍼지 규칙 27개를 이용하여 추론 결과 값을 샘플링해서 평균 주행속도를 향상시키는 최적의 녹색신호주기를 구한다. 본 논문의 퍼지 제어 개념은 다음과 같다.

$$e=R-Y \tag{11}$$

$$Ce=e2-e1 \tag{12}$$

단,

Y : 최적 녹색 신호주기 출력

R : 기준입력(하위교차로 평균 예상 통과차량 대기행렬 길이)

e : 오차(기준입력- 실제 통과차량 길이)

Ce : 오차의 변화량

e2 : 현재의 오차(상위교차로 대기차량 대기행렬 길이)

e1 : 현재보다 한 샘플링 이전의 오차

<표 1>은 최적 녹색시간을 산출하기 위하여 교차로 길이에 적합한 최대 행렬길이를 산출하기 위해서 실제 대기행렬길이를 <표 1>과 같이 퍼지 제어 입력 값으로 변환된다. <표 2>는 최적 녹색시간 산출 규칙으로서 오차와 오차의 변화량이 없는 경우는 예상대기행렬길 이와 실제 대기행렬 길이와 큰 차이가 없는 경우이므로 샘플링 시간 10초를 녹색시간으로 설정한다.

오차가 양으로 매우 크고 오차의 변화량이 음이나 0 일 경우에는 하위교차로의 예상 통과차량은 소형이고 상위교차로의 대기 행렬길이의 오차 변화량은 적어지

$$\begin{aligned}
 &= 0.3, 0.7 [0.3/1, 0.9/2, 0.7/3, 0.3/4] \\
 &= 0.3/1, 0.3/2, 0.3/3, 0.3/4 \\
 U &= \frac{\sum(\text{멤버쉽함수값을갖는대집합}\times\text{그것의함수값})}{\text{멤버쉽함수값}} \quad (13)
 \end{aligned}$$

본 논문에서는 비 퍼지화 방법 중에 가장 많이 사용되고있는 무게 중심법 식 (13)를 이용해서 식 (14)의 결과를 얻었다.

$$u' = [0.3/1, 0.1/2, 0.3/3, 0.3/4, 0.3/5, 0.2/6] \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
 &\{0.3 * [1+3+4+5] + 0.1 * [2] + 0.2 * [6]\} / (0.3 * 4) \\
 &+ (0.1 * 1) + (0.2 * 1) = 3.5 \quad (15)
 \end{aligned}$$

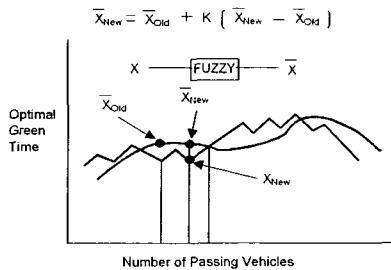


그림 7. 통과차량 및 상이한 교차로조건에 따른 최적 녹색 시간
 Fig 7. Optimal green time depending on passing vehicle and different traffic conditions.

비 퍼지화 값이 3.5이므로 하위 교차로 통과차량 한 대가 통과하는 평균시간 3초를 곱하여구한 9초와 횡단 보도시간 15초를 더한 24초가 최적 녹색시간으로 산출된다.

<그림 7>은 하위 교차로 예상 통과 차량 X old 와 상위교차로 실제차량 통과차량 X new를 퍼지 규칙을 이용해서, 교차로 조건을 고려한 최적의 녹색시간을 산출하는 것을 설명하고 있다.

최적의 녹색시간을 산출하기 위해서는, 도로위에 설치된 루프디텍터를 이용해서 하위 교차로를 출발할 예상 통과차량을 정확하게 파악해야 된다. 그러나 우리나라의 직진차선은 대부분 직진차선과 회전차선으로 분리되어 있지 않은 경우가 대부분이기 때문에 하위 교차로에 대기중인 차량 중에서, 상위 교차로에 진입할 직진 차량을 정확하게 예측 할 수가 없다. 그러므로 하위 교차로 직진 및 회전 차선에서 대기중인 예상 통과차량 대기행렬 중에 몇 대가 상위교차로 직진차량으로 진입하는 차량수를 파악하기 위해서는 먼저 교차로에

설치된 루프디텍터로 예상통과차량 대기행렬길이를 구한다. 그 다음에, 승용차 대기시간을 최소화하기 위해서 실제 예상 통과차량의 오차를 구한 후에 도로 길이 및 차선 수, 승용차 환산계수를 보정한 후에 앞막힘 현상을 예방하고 평균 주행속도를 향상하는 최적의 녹색신호주기를 생성한다.

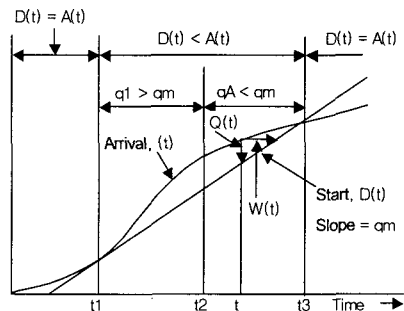


그림 8. 교차로 상태조건에 따른 출발 지연시간
 Fig. 8. Startup delay time depending on traffic intersection conditions.

<그림 8>은 도착차량과 출발차량이 같을 경우에는 출발지연시간이 발생 하지 않지만, 하위교차로를 출발한 예상 출발차량(예상 통과차량)이 상위교차로에 도착했을 경우, 도착차량(예상 대기차량)이 출발차량 보다 크거나 작은 경우에는 출발 손실시간이 발생 하는 과정을 설명 하고 있다. 예를 들어서 하위교차로의 차선 수가 2차선이고 상위교차로가 4차선일 경우에 7대의 예상 통과차량이 진입을 할 경우에는 녹색신호주기를 연장해도 무관하지만 그 반대의 경우에는 녹색신호주기를 단축해야만 한다.

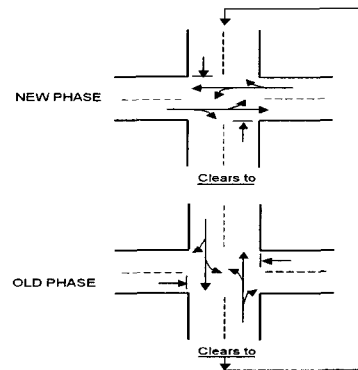


그림 8-A. 출발 손실시간을 고려한 최적 녹색 시간
 Fig. 8-A. Considering start up lost time of optimal green time.

<그림 8A>는 명절이나, 혹은 백화점 SALE, 각종 공사구간에서 한 녹색현시에 하위교차로를 출발한 통과차량이 상위교차로에 진입을 할 수 없는 경우에는 승용차 대기시간을 발생시키거나 출발손실시간을 유발하는 앞 막힘 현상이 발생 하게 된다. 이러한 경우에는 교차로 특성에 맞게끔 주도로에 유입하는 차량별 회전차선의 신호주기를 단축하거나, 통제하여 교차로에서 발생하는 출발손실시간을 최소화 하고 평균주행속도를 개선하는 과정을 설명 하고 있다.

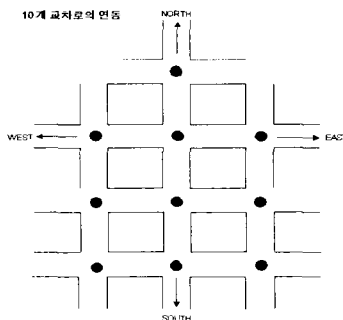


그림 9. 연동된 10개 교차로
Fig. 9. Coordination of 10 traffic intersection.

<그림 9>는 10개 교차로를 연동하여 출발지에서 목적지까지 공사구간 및 지정체 구간을 제외한 최단경로를 선택하는 과정을 보여주고 있다.

각 교차로 노드들 ti와 tj의 최단 경로상의 개념적 거리 distance(ti, tj)는 다음과 같이 정의된다고 하면,

$$distance(ti, tj) = w_i, x_1 + w_{x1, x2} + w_{x2, x3} + \dots + w_{xn, j}$$

w_{i, x1}, w_{x1, x2}, w_{x2, x3}, w_{xn, j}는 그래프에서 노드 ti와 tj 사이의 최단 경로 상에 있는 노드들 간의 가중치를 나타낸다.

distance(ti, tj) = ti와 tj를 연결하는 최소 링크 수.

$$Q = Con_1(Q) OR Con_2(Q) OR \dots OR Con_p(Q)$$

$$= OR_{i=1, \dots, p} Con_i(Q)$$

$$Con_i = L_{i1} AND L_{i2} AND \dots AND L_{im}$$

$$= AND_{j=1, \dots, m} L_{ij}$$

이러한 최소 논리합으로 변환된 교차로길이와 D =

T1 AND T2 AND ... AND Tn과 같이 각각의 경로 중에서 계산하는 최적경로탐색 평가 함수는 다음과 같이 교차로 예상차량 과 교차로 형태보정계수 조건 중에서 교차로 연동시 교차로 지정체 구간이 가장 혼잡한 큰 값을 선택한다.

$$RELEVANCE(Q, D)$$

$$= RELEVANCE(Con_1 OR \dots OR Con_p, D)$$

$$= Max_{i=1, \dots, p} Relevance(Con_i, D)$$

$$Relevance(Con_i, D)$$

$$= Relevance(L_{i1} AND \dots AND L_{im}, T_1 AND \dots AND T_n)$$

$$= \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n relevance(L_{ij}, T_k)}{Min(m, n) + \frac{1}{2}(m \cdot n - Min(m, n))}$$

$$relevance(L_{ij}, T_k)$$

$$= \frac{1}{1 + distance(T_{ij}, T_k)} \text{ if } L_{ij} \text{ is } T_{ij}$$

$$= \frac{-1}{1 + distance(T_{ij}, T_k)} \text{ if } L_{ij} \text{ is NOT } T_{ij}$$

뿐만 아니라, 백화점 SALE이나, 각종행사나 공사구간으로 인해서 더 이상 차량이 진입을 할 수 없을 경우(교차로 포화상태가 100%가 초과)에는 최단 경로에서 NOT를 이용하여 제외시킨다.

$$Distance(Con_i, D)$$

$$= Distance(L_{i1} AND \dots AND L_{im}, T_1 AND \dots AND T_n)$$

$$= \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n distance(L_{ij}, T_k)}{m \cdot n} \text{ if } Con_i \neq D$$

$$= 0 \text{ if } Con_i = D$$

$$distance(L_{ij}, T_k)$$

$$= distance(T_{ij}, T_k) \text{ if } L_{ij} \text{ is } T_{ij}$$

$$= \frac{1}{|T_{ij}|} \sum_{T \neq T_{ij}} distance(T, T_k) \text{ if } L_{ij} \text{ is NOT } T_{ij}$$

본 논문에서는 먼저 교차로에 설치된 루프센서 3개를 이용해서 하위교차로의 직진 및 회전 공용차선의 예상 통과 차량 길이의 오차와, 상위교차로와 하위교차로의 지정체 및 교차로 공사구간 및 안전도를 고려한 차선 및 교차로조건 오차 변화량을 퍼지 규칙을 이용하여 승용차대기시간 및 출발 지연시간을 최소화 하는 녹색 신호주기를 생성하였다. 뿐만 아니라, 실제 교차로

에서 적용 가능한 최적의 녹색신호주기를 생성하기 위해서는 지 정체 조건 및 교차로 조건을 10분 단위로 교통 상황 및 교차로 형태에 따라서 II장과 III장에서 설명한 것과 같이 녹색신호주기를 보정해 주어야 한다.

식 (16)은 하위교차로의 차선 수보다 상위교차로차선 수가 많거나 적었을 때 발생하는 최적 녹색 시간을 계산하기 위해서 오차 변화율을 구하는 수식이고 <그림 10>은 이를 도표로 표시한 그림이다.

$$\mu_{CE}(ce) = \begin{cases} 0, & \text{if } ce \leq \beta - \gamma_L \\ \frac{1}{2} \left[2 \left(1 + \frac{ce - \beta}{\gamma_L} \right) \right]^{\lambda + 1}, & \text{if } \beta - \gamma_L \leq ce \leq \beta - \gamma_L / 2 \\ 1 + \frac{1}{2} \left[\frac{2(ce - \beta)}{\gamma_L} \right]^{\lambda + 1}, & \text{if } \beta - \gamma_L / 2 \leq ce \leq \beta \\ 1 + \frac{1}{2} \left[\frac{2(ce - \beta)}{\gamma_R} \right]^{\lambda + 1}, & \text{if } \beta \leq ce \leq \beta + \gamma_R / 2 \\ \frac{1}{2} \left[2 \left(1 + \frac{ce - \beta}{\gamma_R} \right) \right]^{\lambda + 1}, & \text{if } \beta + \gamma_R / 2 \leq ce \leq \beta + \gamma_R \\ 0, & \text{if } ce \geq \beta + \gamma_R \end{cases} \quad (16)$$

<그림 10>은 차선에 따라 최적 녹색시간을 퍼지 적응제어를 하기 위해서 소속 함수를 좌측이나 우측으로 이동하여 쉽게 구할 수 있는 것을 설명한 그림이다.

<그림 11>은 상위교차로와 하위교차로의 차선 수 및 도로 길이를 보정한 다음에 승용차 환산계수에 의한 대기행렬길이를 퍼지 적응함수를 이용해서 선택하는 과정을 나타낸 것이다. FMA는 중형차량길이, FMB는 중형차량길이, FMC는 대형차량길이를 퍼지값을 이용

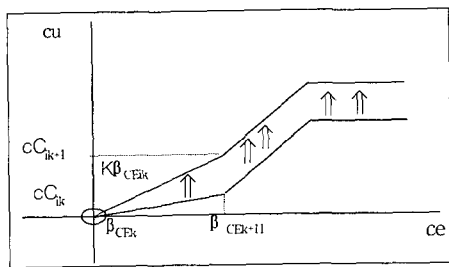


그림 10. 차선에 따른 오차변화율 재 계산
Fig. 10. Change in error re calculation depending on number of lane.

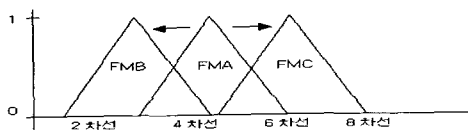


그림 11. 차선에 따른 적응 퍼지 제어
Fig. 11. Adaptive fuzzy control depending on number of lane.

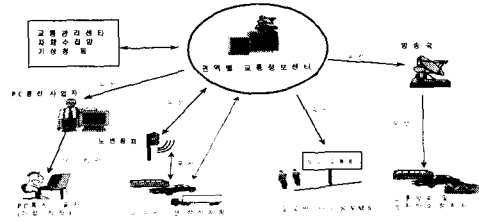


그림 12. 인터넷을 이용한 교통 상황 예보
Fig. 12. Forecasting of traffic situation using internet.

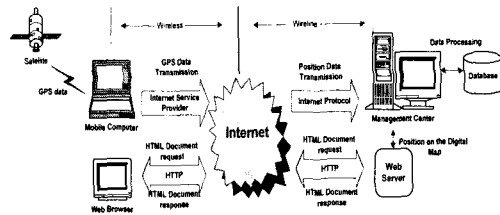


그림 13. 무선 인터넷을 이용한 교통정보
Fig. 13. Traffic information using wireless internet.

하여, 지 정체시에 교통량이 많은 경우에 앞 막힘현상 및 평균주행시간을 보정할 수 있다.

<그림 12> 및 <그림 13>은 10개 교차로의 최적 교통신호주기 상황을 인터넷을 이용해서 제공하는 과정을 보여 주고 있다.

<그림 14>는 연동된 10개 교차로 구간에서 교통사고 구간 및 도로 안전상태를 인터넷에서 색깔별로 검색할 수 있게 해 주는 시뮬레이션이다

뿐만 아니라, <그림 14>는 기존의 자동항법장치에서 큰 문제가 되고 있는 최적경로구간이 급커브가 심하거나, 공사구간, 교통사고 위험구간일 경우에는 퍼지 규칙을 이용하여 도로상태의 안전도 상태 시뮬레이션 결과를 보여준다.

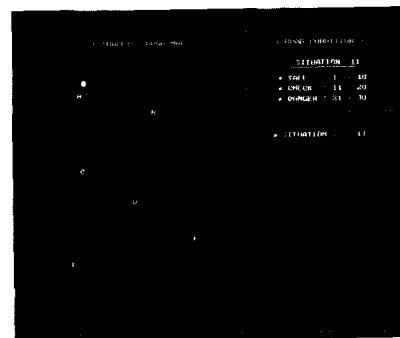


그림 14. 평균 차량속도 시뮬레이션
Fig. 14. Average vehicle speed simulation.

표 4. 포화상태에 따른 기존방식과 인공지능 신호주기 비교

Table 4. Comparison with A.I. traffic light depending on a saturation rate and a conventional traffic light.

연동 구간	교차로 형태조건						통과차량			승용차 대기시간			
	차선수			차선 길이			공사 & 정체	급 커브	대	중	소	고정 주기	퍼지 신호등
3 교차로	4	6	8	100	100	350	B	B	3	1	1	60초	43초
ABC	4	6	6	150	100	300	C	C	1	2	1	60초	48초
CDE	4	4	8	100	300	200	C	B	1	0	4	60초	53초
ABC	6	4	6	150	100	100	G	G	2	2	3	60초	61초
EFG	4	8	8	100	150	120	B	A	1	1	4	60초	51초
ABC	4	6	6	150	120	200	E	C	3	2	5	60초	47초
CDE	4	4	4	150	130	200	A	C	1	2	2	60초	57초
ABC	4	6	6	100	170	200	E	C	1	1	1	60초	51초
CDE	4	6	6	100	170	200	E	C	1	1	1	60초	51초

```

<교차로 안전상태 시뮬레이션 프로그램>
char room[5]; /*난수값 출력 위한 배열선언*/
outtextxy(400,180,"TRAFFIC CONDITION");
/*교통속도 메시지 출력*/

setcolor(1); /*메시지 출력 색깔 지정*/

sprintf(room,"%d",ran); /*발생 난수를 배열 room에 저장*/
outtextxy(560,180,room); /*난수값 출력*/
void yellow(int ran) /*yellow사용자 함수 시작*/
{
char room[5]; /*난수값 출력 위한 배열 선언*/
outtextxy(400,180," * VEHICLE SPEED : "); /*차량속도 */
setcolor(14); /*메시지 출력 색깔 지정*/
sprintf(room,"%d",ran); /*발생 난수를 배열 room에 저장*/
outtextxy(560,180,room); /*난수값 출력*/
sprintf(room,"%d",ran); /*발생 난수를 배열 room에 저장*/
outtextxy(560,180,room); /*난수값 출력*/

}
ran=(random(29)+1);
if(ran>=1 && ran<=10)
{
setcolor(1);
circle(228,168,4);
setfillstyle(1,4);
floodfill(228,168,1);
blue(ran);
}
else if(ran>=11 && ran<=20)
{
setcolor(14);
circle(228,168,4);
setfillstyle(1,14);
floodfill(228,168,14);
yellow(ran);
}
else if(ran>=21 && ran<=30)
{
setcolor(4);

```

```

circle(228,168,4);
setfillstyle(1,4);
floodfill(228,168,4);
red(ran);
}

```

모의실험결과 교차로 조건을 고려한 연동화구간에서 퍼지 규칙을 이용한 교통신호등이 고정 주기 신호등 보다 승용차 대기시간이 <표 4>에서 보는 것처럼 23 ~ 38% 이상 단축시킬 수 있었다.

V. 결론

교통신호기를 알맞게 설치하면, 보행자를 안심하고 횡단시킬 수 있으며, 인접 교차로를 연동시켜서 일정한 속도로 긴 구간을 연속 진행시킬 수 있는 장점이 있으나, 교통신호기가 부적절하게 설치되었거나, 교차로 조건을 고려하지 않고, 차량의 많고 적음에 따라서 신호주기를 생성하지 못 할 경우에는 불필요한 지체로 인해서, 평균주행 속도가 줄어들고 연료 소모 및 승용차 대기시간을 유발시킨다.

최적의 녹색시간을 산출 하려고하면, 녹색 신호시간에 통과할 예상 통과차량 수를 정확하게 산출해야한다. 그러나, 우리나라의 직진차선은 대부분 직진차선과 회전차선으로 분리되어 있지 않은 경우가 대부분이기 때문에 하위 교차로에 대기 중인 차량 중에서, 상위 교차로에 진입할 직진 차량을 정확하게 예측 할 수 가 없는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는, 3장이나 4장에서 살펴본 것과 같이 평균 주행속도를 개선하고 교차로 조건 및 안전도를 고려한 승용차 대기시간을 개선 할 수 있도록 적응 퍼지 규칙 을 사용하여 평균주행속도 및 승용차 대기시간을 개선하는 최적 녹색시간을 산출하였다. 뿐만 아니라, 교차로의 길이나 교차로의 차선 수에 적응 할 수 있도록 적응 퍼지 제어 개념을 도입하였다

이러한 최적녹색시간은 인터넷에서 최적교통상황을 퍼지 규칙을 이용해서 교차로 조건에 맞는 최적의 교통정보를 얻을 수 있고 기존의 자동항법장치에서 선택된 최적경로가 위험한 공사구간이나 급경사구간 사고 다발 지역일 경우에는 퍼지 규칙을 이용하여 우선 순위를 구별하여 줌으로서 초보 운전자의 안전을 도모할 수 있도록 하였다.

아무리 잘 설계된 교통 신호등 이라고 해도, 갑작스

러운 교통량 증가 및 공사구간 으로 인한 교통 장애 시에는 신호주기를 정확하게 산출할 수 없다. 그러므로 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 교차로 5개 - 10 개를 연동화 하여서, 교통량 예측프로그램을 1 시간 전에 예보 할 수 있도록 하는 지능형 교통신호등의 연구 일 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 신성일, "간선도로 연동화 모델에 관한연구, 석사 학위논문, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과, 1992
- [2] James A. Bonneson, "Modelling Queued Driver Behavior at Signalized Junctions", Paper No920105 Transportation Research Board 71st Annual Meeting, January 1992.
- [3] Nagui M. Roupail and Akcelik, "Oversaturation Delay Estimates With Consideration of Paking", Paper No. 920047, Transportation Research Board 71st Annual Meeting, January 1992.
- [4] 김재국, "도시교차로의 최적신호체계 및 대중교통 서비스 개선에관한 연구, 박사학위논문 서울대학교 환경대학원 환경계획학과, 1990
- [5] 김현석, "간선도로의 연동화기법에 관한연구", 석사학위논문, 서울대학교 대학원 토목공학과, 1992
- [6] 서울특별시 교통특성 및신호체계현황, "서울특별시 신 교통신호체계 개발에 관한공개토론회, pp. 1~132, 도로 교통안전협회, 교통개발 연구원
- [7] 윤항목, "교차로의 적정신호주기 결정을 위한 해석적 연구", 서울대학교 대학원 도시공학과, 1986
- [8] C.P.Pappis, E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller international fuzzy system association, IFSA,1995, pp. 461~464.
- [9] R.Hoyer,U.Jumar, "Fuzzy Control of Traffic Lights", Proc.3rd IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 1526~1531,Orlando, U.S.A., 1994.
- [10] Hong, YouSik and Park, ChongKug, "Considering Passenger Car Unit of Fuzzy Logic", Proc. of the sixth international fuzzy system association, IFSA,1995, pp. 461~464.
- [11] Moller, K. , "Calculation of optimum Fixed Time signal Programs Transportation and Traffic Theory." Proceedings of the Tenth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, July 8-10, MIT, USA, 1987.
- [12] George J.Klir, "Fuzzy Ssts Uncertainty and Information", Prentice-Hall Inc, PP. 69~93, 1993.
- [13] Dr.E.H.Mamdani "Fuzzy Reasoning Its Applications", Academic Press, PP. 310~323, 1981.
- [14] 이영노, 김태환, 서일홍, "록업테이블을 이용한 자동학습 지제어기의 설계에관한연구", 전자공학회 논문지 제29권 B편 제 9호, pp. 723~734,1992
- [15] Hanshin Expressway Public Corpoation, Traffic Control System For Safe and Comfortable Driving,1984.
- [16] C.P. Pappis and E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for Traffic Junction", IEEE Trans Systems, VOL. SMC-7 NO.10, PP. 707~712, 1975.
- [17] 진현수, "퍼지이론을 이용한 도시 교통신호등의 제어 에관한 연구", 시립대학교 부설 수도권 개발 연구소 연구 논문 제 17 집, pp. 97~103,1991
- [18] Everett C. Carter and W.S. Homburger, "Introduction to Transportation Engineering", 1978.
- [19] Transportation and Traffic Eng. Handbook,1992.
- [20] Donald R. Drew, "Traffic Flow Theory and Control", Mcgraw-Hill CO. 1968, 대한교통 학회 지 VOL.1, NO.1.
- [21] 강병화, "교차로의 교통신호등 연동운영에 따른 성능 평가", 석사학위논문,연세대학교산업대학원, 1989
- [22] 홍유식, 박종국, "승용차환산계수를고려한 퍼지교통신호등의연구" 퍼지시스템학회 추계학술대회 논문집, Vol.4, No.2, 1994, pp. 244~249.

저 자 소 개



洪 裕 植(正會員)

1984년 : 경희대학교 전자공학과 (학사). 1989년 : 뉴욕공과대학교 전산학과(석사). 1997년 : 경희대학교 전자공학과(박사). 1985년~1987년 : 대한항공(N.Y.지점 근무). 1989년~1990년 : 삼성전자 종합기술원 연구원. 1991년~현재 : 상지대학교 전산학과 부교

수. 2000년~현재 : 한국 정보과학회 논문지 심사위원. 2000년~현재 : 한국 퍼지 및 지능시스템학회 기획 이사. 2000년~현재 : 한국 인터넷정보학회 학회지 편집위원. 2001년~현재 : 한국 컴퓨터 교육산업학회 이사. <주관심분야 : 퍼지시스템, 전문가시스템, 신경망, 교통 제어>