



특집
07

퍼지규칙을 이용한 최적교통신호

목 차

- 1. 서 론
- 2. 최적 교통 신호주기
- 3. 퍼지 교통신호등 Simulation
- 4. 결 론

홍유식 · 조병호 · 이철기
(상지대학교 · 관동대학교 · 아주대학교)

1. 서 론

기존의 교통신호시스템은 대형차량의 구성비가 적고, 과포화 상태가 적었던 1960년도에는 년별 월별 일별로 교차로를 통행하는 평균차량 데이터를 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 주차선(Critical Lane Volume)만의 신호주기를 구하는 Green-Shields의 방법과 도착 교통량의 처리여부에 관계없이 차량의 총 지체를 최소로 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].

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

갑작스러운 교통량의 증가는 출퇴근시간에 교차로의 자동차 정체구간이 많아지고, 교차로에 진입하는 대형차량 및 교차로 차선 및 교차로 길이의 상이한 특성으로 인해서 녹색신호시간에도 차량진입이 불가능한 경우가 자주 발생한다 [5-7]. 이러한 경우에는 최단경로 탐색기능이 상실되고 승용차 출발 손실 시간이 발생하게 된다.

손실시간을 최소화하려면 교차로의 특성에 퍼지 규칙을 이용하여 최적신호주기 산출이 가능한 교통신호 시스템이 차량의 대기 시간을 줄일 수 있는 방법으로 적합하다. 따라서, 본 논문에서는 교차로에서 발생하는 승용차 대기시간을 최소화하고 도로의 급커브 구간이나 정체구간을

표시해주는 퍼지 교통 신호등의 시뮬레이션을 통해 본 퍼지규칙을 이용한 교통시스템이 기존 시스템보다 우수함을 보여주고 이를 활용해서 운전자가 무선인터넷을 이용해서 최적의 경로를 선택할 경우에 급경사, 도로의 차선수, 도로의 조명상태, 사고위험을 등을 고려한 최적의 경로를 안내해 주는 시스템 설계에 활용이 가능한 방법을 제시하고자 한다.

2. 최적 교통 신호주기

요즈음과 같이 승용차 대기시간을 최소로 하 기위해서는, 교차로의 총 접근지체를 산정 하여 야 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 시간비 (g/C)
- C = 주기장(초),
- x = v / c,
- c = 교통용량(vph)

Webster공식에 의하면, 신호체제를 최소로 하는 최적 주기장(Cop)은 식(2)에 근사 한다는 것을 알 수 있다.

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

그러나, 식(2)의 최적 주기장은 교차로의 포화도가 높게 되면, 과도한 값으로 되어, 앞막힘 현상이 발생하게 되고 승용차대기시간 및 평균주행속도를 유발하기 때문에 퍼지규칙을 이용하여 교차로 특성에 맞는 최적의 신호주기를 생성해야 한다.

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

$$|Gin(t)| = |pin(t), pin(t), pin(t)| * |a1(t)| + |v1(t)| \quad (3)$$

$$|Gst(t)| = |ps(t-1), ps(t-1), ps(t-1)| * |a2(t)| + |v2(t)| \quad (4)$$

여기서,

Gin(t) : 통과차량 대기행렬길이를 고려한 최적 녹색 시간

Gst(t) : 누적차량 대기행렬길이를 고려한 최적 녹색 시간

P(t) : 하위교차로 예상 통과차량 수

a(t) : 하위교차로 통과차량 길이

v(t) : 상위교차로 포화상태 (누적차량 대기행렬길이)

그러나, 똑같은 예상통과 차량이 하위 교차로를 출발하여 상위교차로에 진입할 때에, 상위교차로의 차선 수나 교차로의 길이가 큰 경우에, G(t)는 수식 (5)와 같이 표시된다.

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

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, 수식 6과 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 차선수 및 길이를 고려를 안 했기 때문에 교차로에 차량이 많이 진입하는 출퇴근시간에는 교통신호 주기가 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 없게 된다. 다시 말해서, 상위교차로의 대기행렬길이가 하위교차로의 교통수요 용량에 근접하거나, 초과 할 때에는 승용차 대기시간 및, 지체, 통과차량속도가 현저하게 떨어지게 된다. 본 논문에서는 교통 속도 및, 대기행렬, 과포화에서 교통신호 매주기마다, 계산되는 실시간 제어시스템에서 신호주기는 과포화일 때에 발생하는 교차로내에서의 평균지체시간을 최소화시켜야한다. 기존의 신호주기결정알고리즘은 다음과 같다.

1 단계: 검지기로부터 1차 처리된 검지기별 포

화도(Degree of Saturation)을 입력하여, 각 이동류 별로 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 생성하기위해서, 신호주기(C next)는 현재주기(Ccurrent)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

$$Y = \frac{q * L}{s} \tag{7}$$

$$x = \frac{qC}{gs} \tag{8}$$

여기서,

q : 한 접근로의 차량환산계수 (PCU)

L : 차량길이 (Meter)

s : 한 접근로의 포화교통량 (Meter)

C : 주기 길이(초)

g : 유효녹색시간(초)

3. 퍼지 교통신호등 Simulation

최근 예측할 수 없는 차량의 갑작스러운 증가로 인해서 통과차량속도, 승용차환산 계수 등이 기존의 교통대응모드와 큰 차이가 발생할 경우에는 최적의 offset 값을 산출하기가 어렵게 된다. 그러므로, 교통효율을 높이기 위해서는 교통량이 많은 방향에 우선권을 부여하여 앞막힘 현상 방지 및, 승용차대기시간을 최소로 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 앞막힘 현상 방지 및 승용차 대기시간을 최소로 하는 최적의 offset을 결정해야 한다. 교통량이 증가하여 대기행렬의 길이가 길어지면 역연동(reverse progression)을 선택하여야 한다. 즉 상위교차로의 녹색신호가 시작되기 전에 먼저 하위교차로의 녹색시간이 시작되게 하여 앞막힘 현상을 방지하여야 한다. 반대로, 교통량이 적어 대기행렬의 길이가 없을 경우에는 단순히 링크의 길이와 차량의 속도를 고려하여 하위 교차로에서 출발한 차량이 상위교차로에 진입할 때까지 상위교차로의 녹색시간을 연동시켜 주어야 한다.

뿐만 아니라, 하위 교차로의 교통량이 계속적으로 증가하여 예상 대기행렬차량이 상위교차로에 도착할 때에는 상류 교차로의 교차로 길이 및 교차로 형태 및 용량에 따라서 심각한 앞 막힘 현상(spillback)이 발생한다.

$$t_{equity} = g_1 C - L / V_{acc}$$

여기서,

$$t_{equity} = \text{평등 읍셋(sec)}$$

$$g_1 = \text{상류 교차로 주요 방향 녹색시간 비율 (percent)}$$

$$C = \text{주기길이(sec)}$$

$$L = \text{링크의 길이(m)}$$

$$V_{acc} = \text{가속과 속도(외국의 경우 보통 16 fps, m/sec)이다.}$$

연동을 고려한 최적 녹색시간은 지체와 통행시간을 최소화 시킬 수 있어야 되며, 교차로의 길이, 차선 수, 차량의 종류를 고려해야만 평균 주행 속도를 향상시킬 수 있고 앞막힘 현상을 방지할 수 있다.

$$D_u = \left[\sum_{i=1}^n m_t / N \right] \cdot C \tag{9}$$

여기서,

$$D_u : \text{균일지체시간 (대-시간/시간)}$$

$$m_t : \text{단계(step)t 동안의 대기행렬길이}$$

$$N : \text{신호주기동안의 단계의 수}$$

$$C : \text{신호주기(초)}$$

$$D_{rs} = \frac{900TX^2}{(3600/v)} \left\{ (X-1) + \left[(X-1)^2 + (4X/CT) \right]^{1/2} \right\} \tag{10}$$

여기서,

$$D_{rs} : \text{균일지체시간과 포화상태에 따른 지체시간의 합}$$

$$T : \text{단위시간(일반적으로 60분)}$$

$$X : \text{포화교통류율(pcphg)}$$

$$v : \text{링크의 교통량(pcu)}$$

$$C : \text{신호주기(초)}$$

트랜짓-TF 모형내에서 한 링크의 출 지체시간

은 주어진 시간 동안 링크 내에 있는 차량에서 발생하는 지체시간의 합으로 계산된다. 즉, 균일 지체시간과 불균일지체시간 및 포화상태에 따른 지체시간의 총합이 총 지체시간이다. 식 11은 트랜짓-7F 모형에서의 총 지체시간을 나타낸 것이다.(Federal Highway Administration, 1991)

$$D = D_u + D_{rs} \tag{11}$$

여기서,

D : 총 지체시간(대-시간/시간)

D_u : 균일지체시간(대-시간/시간)

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

각 교차로의 차선을 통과한 차량의 형태 및 대수를 검지하여 최적의 녹색신호주기를 예측한다. 혹시, 통과차량의 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 다음신호 주기의 녹색시간을 보정한다.

앞 막힘 현상을 줄이고 평균주행속도를 개선하기 위해서는 3 장에서 살펴본 것과 같이, 교차로의 거리가 일정하지 않고 각 차선에서의 포화차량의수, 누적차량의수, 대기차량의수가 다르기 때문에 각 현시별 유효녹색 시간(Effective Greenlight Time)은 Webster방법에 의해서 최적주기(optimal signal cycle) CO를 구할 수는 있으나, 한정된 도로와 한정된 차량만 통계적으로 적용될 뿐 유동적인 차량의 data에는 적용할 수가 없는 문제점이 발생한다.

본 논문에서 사용된 퍼지규칙을 이용한 최적 신호등 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 이용해서 직진차량 및 회전차량을 계산한다.

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

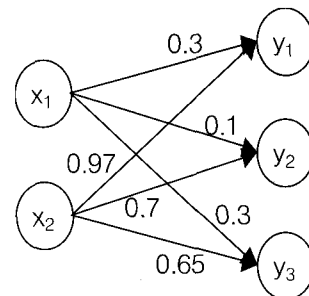
$G(t)=p(t-1)*c(t)$: 직진 및 회전 공용차선일 경우

$G(t)=p(t-1)*a(t)$: 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 진입할때에, 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)에서 보는 것처럼 주기 및 최적녹색시간을 구하기 위해서는 교차로 특성에 맞는 교차로 길이와 타선수를 고려하여, 실시간 교통제어 시스템 최대주기길이의 예측이 가능하게 된다.



(그림 2) 퍼지 그래프

	X1	X2	X3	X4
X1	1.0	0.0	0.2	0.0
X2	0.0	1.0	0.3	1.0
X3	0.2	0.3	1.0	0.4
X4	0.0	1.0	0.4	1.0

(그림 3) 퍼지 관계

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

$$Gt1 = Nveh * 3 + Cflane + starting\ delay\ time + end\ lagtime$$

$$LosttmeG1 = green - 1(1/3 Pg) + Yellowtime (Pg + 1/2 Py) + Redtime(Pg + Py + 1/3 Pr) \\ Gt2 = Nveh * 3 + starting\ delay\ time$$

$$LostTmeG2 = green - 1(1/21Pg) + Yellowtime(Pg + 1/2Py) + redtime * (Pg + Py + 1/2Pr)$$

$$Gt3 = Nveh * 3 * Cflane + starting\ delay\ time + road\ conversion\ Time$$

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

$$GT4 = Nveh * 3 + Delay\ Time$$

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

$$GT5 = Nveh * 3 * CFLane + starting\ delay\ time + road\ conversion\ time$$

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

여기서,

GT1, Gt2, Gt5: 연동을 고려한 최적 녹색 시간

NVEH: 통과 차량 대수(Number of Vehicles)

CFLane: 차선 보상계수 (Conversion factor of Lane)

Starting Delay Time: 출발 지연시간

Road conversion Time: 교차로 형태 보상시간

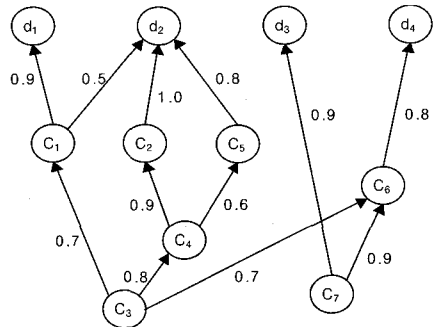
LostTme : 승용차 대기시간

PG: 예상 녹색시간 Probability of Green Time

PY: 예상 황색시간 Probability of Yellow Time

Time

PR: 예상 적색시간 Probability of Red Time



(그림 4) 교차로 퍼지보정계수

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 5는 최적교통 신호주기 산출 결과를 보여 주고 있다.

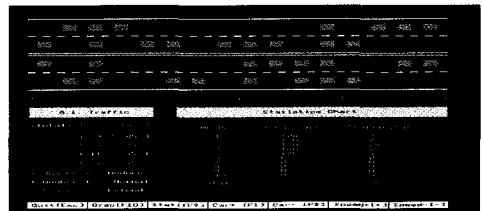
$$RSV*(d1) = \text{Max}[RSV1(d1)=0.9, RSV2(d1) = 0.9] = 0.9$$

$$RSV*(d3) = \text{Max}[RSV1(d3)=0.4, RSV2(d3) = 0.8] = 0.4$$

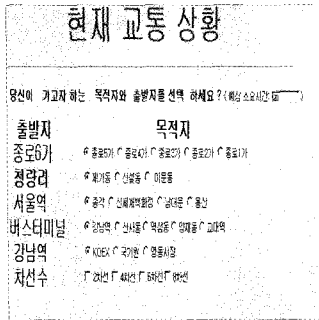
$$RSV*(d4) = \text{Max}[RSV1(d4)=1.0, RSV2(d4) = 0.3] = 0.3$$

$$RSV*(d5) = \text{Max}[RSV1(d5)=0.6, RSV2(d5) = 0.4] = 0.4$$

$$RSV*(d7) = \text{Max}[RSV1(d7)=0.4, RSV2(d7) = 0.1] = 0.1$$

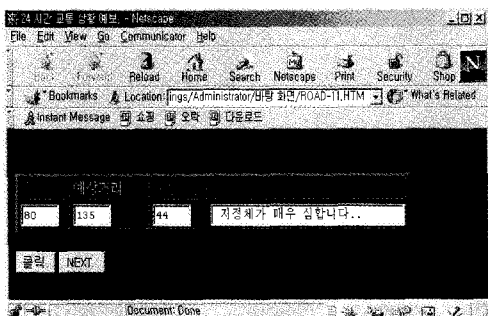


(그림 5) 교통신호주기 시뮬레이션



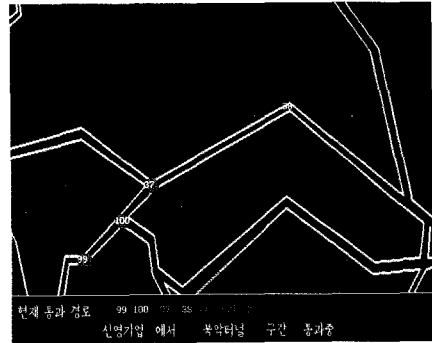
(그림 6) 교통상황 시뮬레이션

이러한 퍼지 보정계수는 고정신호등 현시를 30초 기준으로 했을 경우, 퍼지 함수를 이용한 최적 녹색시간을 산출할 수 있다. 다시말해서, 상위 교차로 길이가 100 meter 이고 하위교차로의 길이가 100 meter 인 경우에는 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 0.5의 퍼지 보정계수를 갖고 완만한 구간은 0.4이하의 값을 입력하면 교차로의 급커브



(그림 7) 예상 도착시간 시뮬레이션

구간 및 차선수와 대기행렬길이를 고려한 예상소요시간을 (그림 6)처럼 simulation 할 수 있게 된다.



(그림 8) 교통상황 시뮬레이션 1

```
function road(form) {
    if (calc(form)) {
        you=Math.round(vimando(form.distance.value, form.arrival.value/100));
        form.vimando.value=you;
        if (you >30) {
            form.result.value=" 지정체가 매우 심합니다..";
        }
        else if (you >27 && you <=30) {
            form.result.value=" 도로상황이 상당히 않좋습니다. ";
        }
        else if (you >23 && you <=27) {
            form.result.value=" 도로상황이 정체 구간입니다. ";
        }
        else if (you >21 && you <=23) {
            form.result.value=" 도로상황이 지정체 구간이 시작됩니다..";
        }
        else if (you >=17 && you <=21) {
            form.result.value=" 도로상황이 약간 혼잡합니다..";
        }
        else if (you <15) {
            form.result.value=" 모든 도로상황이 정상입니다. ";
        }
    }
    return;
}
```

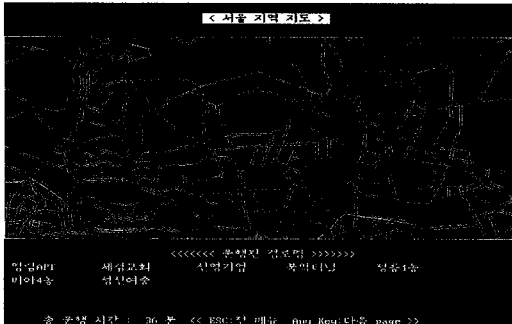
```
<BODY BGCOLOR="#0000ff">
<font size=3> 현재 도로 상황을 알려드립니다.<BR>
<FORM NAME="vimando" method=POST>
<TABLE border=3>TR>
<TD><DIV ALIGN=CENTER><fontcolor="ff00ff">속도</font>
(kg)</DIV></TD>
<TD><DIV ALIGN=CENTER><fontcolor="ff00ff">예상거리
</font><(cm)</DIV></TD>
<TD><DIV ALIGN=CENTER><fontcolor="ff12345">예상시간
```

```

</font></DIV></TD>
<TD><DIV ALIGN=CENTER><fontcolor="12345">도로상황
?</font></DIV></TD>
</TR>

```

(그림 7)과 (그림 8)은 인터넷에서 출발지와 목적지를 선택하면 교통상황과 예상도착시간을 안내해주는 시뮬레이션을 보여 주고 있다.



(그림 9) 교통상황 시뮬레이션 2

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 퍼지제어 개념은 다음과 같다.

$$e=R-Y \tag{12}$$

$$Ce=e2-e1 \tag{13}$$

- 단, Y: 최적 녹색 신호주기 출력
- R: 기준입력(하위교차로 평균 예상 통과차량 대기행렬길이)
- e: 오차(기준입력- 실제 통과차량 길이)
- Ce: 오차의 변화량
- e2: 현재의 오차 (상위교차로 대기차량 대기행렬길이)
- e1: 현재보다 한 샘플링 이전의 오차

<표 1>은 최적 녹색시간을 산출하기 위하여

<표 1> 퍼지 교통신호등 양자화

양자화단계	교차로길이 양자화 값에 대한 집합의 범위
-6	$x \leq -60$ meters
-5	$-60 < x \leq -40$
-4	$-40 < x \leq -30$
-3	$-30 < x \leq -20$
-2	$-20 < x \leq -10$
-1	$-10 < x \leq 0$
0	$0 < x \leq 10$
+1	$10 < x \leq 20$
+2	$20 < x \leq 30$
+3	$30 < x \leq 40$
+4	$40 < x \leq 50$
+5	$50 < x \leq 60$
+6	$x > 60$ meters

<표 2> 퍼지 교통신호등 규칙

	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NS	NB	NB	NB	NS	NB
NM				NM	NM		
NS			NM	NS			
Z		NS	NS	Z	PS		
PS			PS	PS	PM		
PM			PM	PM			
PB	PS	PM	PB	PB	PB	PM	PM

교차로 길이에 적합한 최대 행렬길이를 산출하기 위해서 실제 대기행렬길이를 <표 1>과 같이 퍼지제어 입력값으로 변환된다. <표 2>는 최적 녹색시간 산출 규칙으로서 오차와 오차의 변화량이 없는 경우는 예상대기행렬길이와 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 적어지기 때문에 녹색시간을 본 논문의 퍼지규칙을 이용해서 10초 보다 더 연장해야 한다.

반대로 오차가 음으로 매우 크고 오차변화량이 양이거나 0 인 경우에는 예상 대기행렬이 대형으로 구성되어지고 오차의 변화량은 커지고

있으므로 녹색시간은 10초보다 더 단축해야 한다. <표 3>은 승용차 대기시간을 최적으로 산출할 수 있는 멤버쉽 함수 값을 보여주고 있다.

<표 3> 퍼지 교통신호등 멤버쉽 함수

Table 3 Membership function of fuzzy traffic signal light

	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
-6	1.0	0.3					
-5	0.5	0.2					
-4	0.1	0.8					
-3		0.5	0.7				
-2		0.4	0.6				
-1		0.2	0.8	0.2			
0			0.4	0.5			
1			0.1	1.0	0.3		
2				0.3	0.9	0.1	
3					0.7	0.5	
4					0.3	1.0	0.3
5						0.5	0.5
6						0.2	1.0

예를 들어서 DPSV 가 45 meter 이고 USPC 가 -25meter일 경우에는 표 6에서 양자화 값이 +4 와 -3으로 되고 퍼지 규칙은 다음과 같다.

(RULE 1) IF DPSV IS PB
AND USPC IS NS
THEN OPRG IS PB

(RULE 2) IF DPSV IS PB
AND USPC IS NM
THEN OPRG IS PM

(RULE 3) IF DPSV IS PS
AND USPC IS NS
THEN OPRG IS PS

여기서,
DPSV : 항위교차로 예상 통과 차량길이 오차(E)
USPC : 지정체 및 교차로 공사구간으로 발생 하는 상위교차로 대기행렬길이/ 진입 여유공간 오차 변화량 (CE)
OPRG : 최적 녹색시간

<표 7>과 <표 8>의 퍼지 제어 규칙을 이용하여 최적 녹색시간 출력 Oprg를 산출한다.

(Rule 1)

$$[0.3/4, 0.5/5, 1/6] \wedge [0.7/-3, 0.6/-2, 0.8/-1, 0.4/0, 0.1/1]$$

$$\uparrow \qquad \qquad \qquad \uparrow$$

$$| \wedge [0.3/4, 0.5/5, 1/6]$$

$$= 0.3 \wedge 0.7 [0.3/4, 0.5/5, 1/6]$$

$$= [0.3/4, 0.3/5, 0.3/6]$$

(Rule 2)

$$[0.3/4, 0.5/5, 1/6] \wedge [0.3/-6, 0.2/-5, 0.8/-4, 0.5/-3,$$

$$\uparrow \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \uparrow$$

$$0.4/-2, 0.2/-1] \wedge [0.1/2, 0.5/3, 1.0/5, 0.5/5, 0.2/6]$$

$$= 0.3 \wedge 0.5 [0.1/2, 0.5/3, 1.0/4, 0.5/5, 0.2/6]$$

$$= 0.1/2, 0.3/3, 0.3/5, 0.3/5, 0.2/6$$

(Rule 3)

$$[0.3/1, 0.9/2, 0.7/3, 0.3/4] \wedge [0.7/-3, 0.6/-2, 0.8/-1, 0.4/0,$$

$$\qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \uparrow \qquad \qquad \qquad \uparrow$$

$$0.1/1] \wedge [0.3/1, 0.9/2, 0.7/3, 0.3/4]$$

$$= 0.3, 0.7 [0.3/1, 0.9/2, 0.7/3, 0.3/4]$$

$$= 0.3/1, 0.3/2, 0.3/3, 0.3/4$$

$$U = \frac{\sum(\text{멤버쉽함수값을 갖는 대 집합} \times \text{그것의 함수값})}{\text{멤버쉽함수의 값}} \quad (14)$$

본 논문에서는 비퍼지화방법 중에 가장 많이 사용되고있는 무게 중심법 수식 (14)를 이용해서 수식 (15)의 결과를 얻었다.

$$u' = [0.3/1, 0.1/2, 0.3/3, 0.3/4, 0.3/5, 0.2/6] \quad (15)$$

$$\{0.3 * [1+3+4+5] \} + 0.1 * [2] + 0.2 * [6] \} / (0.3 * 4) + (0.1 * 1) + (0.2 * 1) = 3.5 \quad (16)$$

비퍼지화 값이 3.5이므로 하위 교차로 통과차량한 대가 통과하는 평균시간 3초를 곱하여구한 9초와 횡단보도 시간 15초를 더한 24초가 최적 녹색시간으로 산출된다.

하위 교차로를 출발한 예상 통과차량은 상위

교차로에 진입하게 된다. 그러나 우리 나라의 직진차선은 대부분직진 차선과 회전차선으로 분리되어 있지 않은 경우가 대부분이기 때문에 하위 교차로에 대기중인 차량 중에 상위 교차로에 진입할 직진 차량을 정확하게 예측 할 수가 없다. 그러므로 하위교차로 직진 및 회전 차선에서 대기중인 예상 통과차량 대기행렬 중에 몇 대가 상위교차로 직진차량으로 진입하는 차량수를 파악하기 위해서는 먼저 교차로에 설치된 루프덕터로 예상통과차량 대기행렬길이를 구한 후에 퍼지규칙을 이용하여 10초단위로 최적의 녹색신호주기를 생성한다.

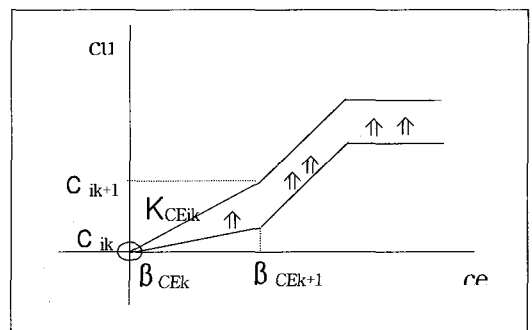
그러나 하위교차로의 직진 및 회전 혼용차선에서 출발한 예상 통과차량이 지정체 때문이나, 공사구간으로 교차로상위교차로에 직진한 통과차량 보다 많거나 적을 때에는 퍼지규칙을 이용하여 발생한 녹색 신호주기에서 오차가 발생하게 되어 승용차 대기시간을 발생시키거나 출발 지연시간을 유발시킨다. 그러므로, 10초 간격으로 퍼지규칙을 사용해서 지정체시에 발생하는 도로 안전도 조건 및 교차로 특성에 맞는 최적의 녹색시간을 생성해야 한다.

뿐만 아니라, 하위 교차로를 통과한 예상 통과차량은 지정체 시에 갑작스러운 차량의 증가나 감소로 인해서 교차로 차선수에 따라서 교통신호주기 생성에 큰 영향을 미치게 된다. 예를 들어서 하위교차로의 차선수가 2차선이고 상위교차로가 4차선일 경우에 7대의 예상 통과차량이 진입을 할 경우에는 녹색신호주기를 연장해도 무관하지만 그 반대의 경우에는 녹색신호주기를 단축해야만 한다.

본 논문에서는 먼저 교차로에 설치된 루프센서 3개를 이용해서 하위교차로의 직진 및 회전 공용차선의 예상 통과 차량 길이의 오차와, 상위 교차로와 하위교차로의 지정체 및 교차로 공사

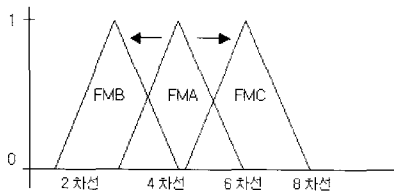
구간 및 안전도를 고려한 차선 및 교차로조건 오차 변화량을 퍼지규칙을 이용하여 승용차대기시간 및 출발 지연시간을 최소로 하는 녹색 신호주기를 생성하였다. 뿐만 아니라, 실제 교차로에서 적용 가능한 최적의 녹색신호주기를 생성하기 위해서는 지정체 조건 및 교차로 조건을 10분 단위로교통 상황및 및 교차로 형태에 따라서 2장과 3장에서 설명한 것과 같이 녹색신호주기를 보정해 주어야 한다. 수식 (17)은 하위교차로의 차선수보다 상위교차로차선수가 많거나 적었을 때 발생하는 최적 녹색 시간을 계산하기 위해서 오차 변화율을 구하는 수식이고 (그림 10)은 이를 도표로 표시한 그림이다.

$$\mu_{ce}(ce) = \begin{cases} 0, & \text{if } ce \leq \beta - \gamma_L \\ \frac{1}{2} \left[2 \left(1 + \frac{ce - \beta}{\gamma_L} \right) \right]^{\lambda + 1}, & \text{if } \beta - \gamma_L \leq ce \leq \beta - \gamma_L / 2 \\ 1 + \frac{1}{2} \left[\frac{2(ce - \beta)}{\gamma_L} \right]^{\lambda + 1}, & \text{if } \beta - \gamma_L / 2 \leq ce \leq \beta \\ 1 + \frac{1}{2} \left[\frac{2(ce - \beta)}{\gamma_R} \right]^{\lambda + 1}, & \text{if } \beta \leq ce \leq \beta + \gamma_R / 2 \\ \frac{1}{2} \left[2 \left(1 + \frac{ce - \beta}{\gamma_R} \right) \right]^{\lambda + 1}, & \text{if } \beta + \gamma_R / 2 \leq ce \leq \beta + \gamma_R \\ 0, & \text{if } ce \geq \beta + \gamma_R \end{cases} \quad (17)$$



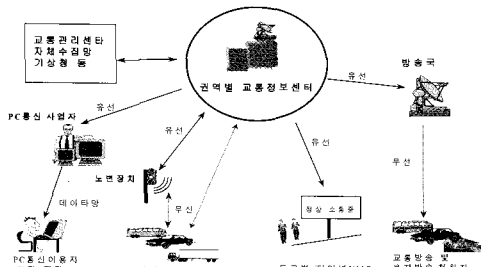
(그림 10) 차선에 따른 오차변화율 재계산

(그림 10)은 차선에 따라 최적 녹색시간을 퍼지 적용제어를 하기 위해서 소속함수를 좌측이나 우측으로 이동하여 쉽게 구할 수 있는 것을 설명한 그림이다.

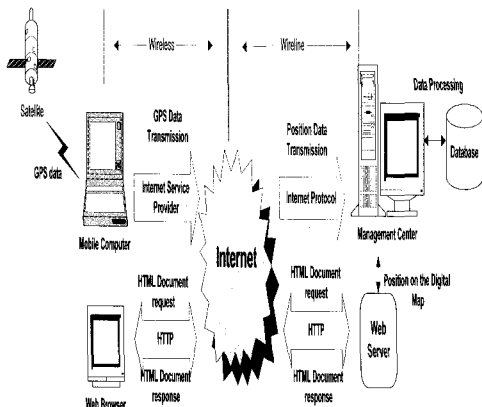


(그림 11) 차선에 따른 적응퍼지제어

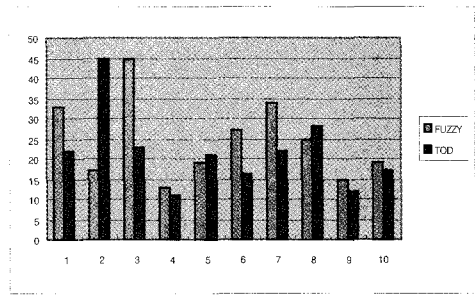
(그림 11)은 상위교차로와 하위교차로의 차선 수 및 도로길이를 보정한 다음에 승용차 환산계수에 의한 대기행렬길이를 퍼지 적응함수를 이용해서 선택하는 과정을 나타낸 것이다. FMA는 중형차량길이, FMB는 중형차량길이, FMC는 대형차량길이를 퍼지값을 이용하여, 지 정체시에 교통량이 많은경우에 앞막힘현상 및 평균주행시간을 보정할 수 있다.



(그림 12) 인터넷을 이용한 교통상황예보



(그림 13) 무선 인터넷을 이용한 교통정보



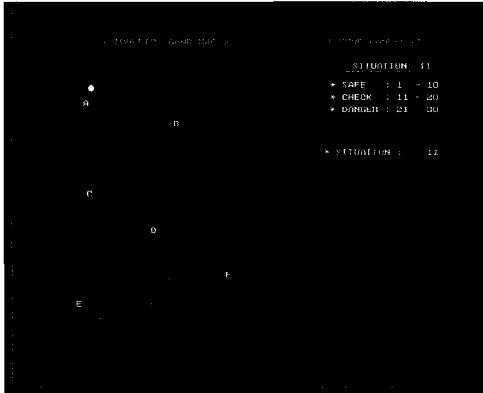
(그림 14) 통과차량속도를 고려한 퍼지신호등과 고정주기신호 대기시간

〈표 4〉 포화상태에 따른 기존방식과 인공지능 신호주기비교

포화 상태	교차로 형태				차량 크기			대기시간비교	
	하위 차선	상위 차선	하위교차로 길이	상위교차로 길이	대	중	소	고정 주기	퍼지 신호등
88	2	4	100meter	100meter	3	1	1	20	3 초
74	2	4	70meter	100meter	1	2	1	20	4 초
55	4	2	200meter	100meter	1	0	4	20	3 초
68	4	4	100meter	100meter	2	2	3	20	6 초
51	4	6	100meter	70meter	1	1	4	20	1 초
34	2		300meter	100meter	3	2	5	20	15 초
43	3	6	400meter	1100meter	1	2	2	20	3 초
32	6	6	100meter	200meter	1	1	1	20	5 초

(그림 14)는 도로교통조건 및 안정성을 고려한 퍼지 교통신호등이 기존의 최단경로 알고리즘보다 약 25 % 개선 된 것을 보여준다.

본 논문에서는 작은 교차로를 2-3개씩 연동하여, 2장이나 3장에서 살펴본 것과 같이 평균 주행속도를 개선하고 교차로 조건 및 안전도를 고려한 승용차 대기시간을 개선 할 수 있도록 퍼지 규칙 27개를 사용하여 최적 녹색시간을 산출하였다. 뿐만 아니라, 교차로의 길이나 교차로의 차선수에 적응 할 수 있도록 적응 퍼지제어 개념을 도입하였다. 모의실험결과 큰 포화 및 미 포화일 때에는 승용차 대기시간이 그림 14에서 보는 것처럼 18 - 35% 이상 단축시킬 수 있었다.



(그림 15) 평균 차량속도 시뮬레이션

(그림 15)는 6개 도로구간에서 교통사고구간 및 도로 안전상태를 인터넷에서 색깔별로 검색할 수 있게 해 주는 시뮬레이션이다

4. 결론

최근 자동차의 급증으로 대도시의 자동차 정체 현상은 심각한 문제로 대두 되고있으며, 교통 혼잡비용이 16 조원으로 매년 증가하고 있는 추세이다. 이러한 경우에는 아무리 우수한 자동항법장치를 장착한 차량도 최단경로 탐색기능이 상실되고 승용차 출발 손실 시간이 발생하게 된다. 이러한 손실시간을 최소화하려면 교차로의 특성에 맞는 최적의 녹색시간을 산출해야된다.

그러므로, 본 논문에서는 퍼지규칙을 이용하여 교차로길이 및 차선수, 승용차환산계수, 직진 및 회전차수 보정계수를 고려하여, 갑작스러운 교통량의 증가하는,출퇴근시간에 승용차 대기시간을 줄일 수 있는 최적의녹색 신호주기 알고리즘을 개발하였다.

뿐만 아니라, 그림 15는 기존의 자동항법장치에서 큰 문제가 되고있는 최적경로구간이 굵커브가 심하거나, 공사구간, 교통사고 위험구간일 경우에는 퍼지규칙을 이용하여 도로상태의 안전도 상태 시뮬레이션 결과를 보여준다.

<교차로 안전상태 시뮬레이션 프로그램>

```

char room[5]; /*난수값 출력 위한 배열선언*/
outtextxy(400,180,"TRAFFIC CONDITION");
/*교통속도 메시지 출력*/

setcolor(1); /*메세지 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); /*메세지 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);
}
}
    
```

본 논문에서는 인터넷에서 최적교통상황을 퍼지규칙을 이용해서 교차로 조건에 맞는 최적의 교통정보를 얻을 수 있고 기존의 자동항법장치에서 선택된 최적경로가 위험한 공사구간이나 급경사구간 사고 다발 지역일 경우에는 퍼지 규

칙을 이용하여 우선 순위를 구별하여 줄이므로서 초보 운전자의 안전을 도모할 수 있도록 하였다.

참고문헌

- [1] Allsop, R.E.: Delay at a Fixed Time Traffic signal. I: Theoretical Analysis. *Transp. Sci.*, 6(3), pp. 260-285, 1972.
- [2] 김홍상, "교통량 측정을 위한 감지기의 단시간 사용법," 한국도로공사, 1990.12.26, PP. 98-112.
- [3] 한승춘, 화상감지기에 의한 신호교차로 교통 특성분석, 아주대학교 공학석사학위 논문, 1992.8.
- [4] 이승환, "우리나라의 전자교통신호시스템 개선방향", 한불산업정보, 제8권2호, 1990, PP. 3-7.
- [5] 이현재, "1,2,3차년 용역결과를 중심으로한 신호시스템 효율성평가와 향후대책" 경찰청, 1994.1.25.
- [6] 이광형, 오길록, "퍼지이론 및 응용 1", 홍릉과학사, 1991.
- [7] C.P. Pappis, E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller international fuzzy system association, IFSA, 1995, pp. 461-464.
- [8] 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.
- [9] Hong, YouSik and Park, Chong+Kug, "Considering Passenger Car Unit of Fuzzy Logic", Proc. of the sixth international fuzzy system association, IFSA, 1995, pp. 461-464.
- [10] 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.
- [11] George J. Klir, "Fuzzy Ssts Uncertainty and Information", Prentice-Hall Inc, PP. 69-93, 1993.
- [12] Dr. E.H. Mamdani "Fuzzy Reasoning Its Applications", Academic Press, PP. 310-323, 1981.
- [13] 이영노, 김태환, 서일홍, "록업테이블을 이용한 자동학습 제어어의 설계에 관한 연구", 전자공학회 논문지 제29권 B편 제 9호, pp. 723-734, 1992.
- [14] Hanshin Expressway Public Corporation, Traffic Control System For Safe and Comfortable Driving, 1984.
- [15] 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.
- [16] 홍유식 "퍼지제어를 이용한 인공지능신호 등의 연구" 한국 정보과학회 인공지능소식, 제8권 1호, pp. 48-66, 1993.
- [17] 진현수, "퍼지이론을 이용한 도시 교통신호 등의 제어에 관한 연구", 시립대학교 부설 수도권 개발 연구소 연구 논문 제 17집, pp. 97-103, 1991.
- [18] Everett C. Carter and W.S. Homburger, "Introduction to Transportation Engineering", 1998.
- [19] Transportation and Traffic Engineering

Handbok, 1992.

[20] Donald R. Drew, "Traffic Flow Theory and Control", Mcgraw-Hill CO. 1998.

저자약력



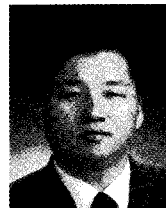
홍 유 식

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 컴퓨터공학부 교수
 2000년~현재 한국퍼지 및 지능시스템학회 이사
 2004년~현재 대한 전자공학회 ITS 분과위원장
 2001년~2003년 한국 정보과학회 편집위원
 2001년~2003년 한국 컴퓨터 교육산업학회 이사, 편집위원
 2004년~현재 건설교통부 ITS 전문심사위원
 2004년~현재 원주시 인공지능신호등 심사위원
 2004년~현재 정보처리학회 강원 지부장
 2005년~현재 정보처리학회 이사
 2005년~현재 인터넷 정보학회 이사
 2005년~현재 대한교통학회 텔레매틱스 분과위원장
 관심분야 : 퍼지시스템, 전문가시스템, 신경망, 교통제어



조 병 호

1983년 인하대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1990년 뉴욕공대 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
 2006년 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(박사)
 2006년~현재 관동대학교 멀티미디어학과 교수
 관심분야 : 소프트웨어공학, 데이터베이스, etc.
 이 메 일 : bhcho@kwandong.ac.kr



이 설 기

1989년 2월 아주대학교 산업공학과 졸업(학사)
 1991년 2월 아주대학교 일반대학원 졸업(교통공학석사)
 1998년 2월 아주대학교 일반대학원 졸업(교통공학박사)
 2000년 3월 미국 Texas A&M University
 TTI(Texas Transportation Institute) Visiting
 Scholar 파정수료
 2000년 3월~2000년 5월 서울지방경찰청 교통발전연구실장
 2000년 6월~2004년 2월 서울지방경찰청 교통개선 기획실장
 및 COSMOS 추진 기획단장
 2002년 10월- 현재 국제 표준화기구(ISO TC204) 실무위원
 2003년 9월~2004년 2월 한양대학교, 아주대학교 강사
 2003년 3월~현재 아주대학교 ITS대학원 교수겸
 교통연구센터 부센터장
 2004년 7월~현재 경찰청 교통규제 심의위원
 2006년 3월~현재 한국ITS학회 총무이사