

최적교통정보 Optimal Traffic Information

홍유식* · 박종국**
YouSilk Hong* and ChongKug Park**

상지대학교 컴퓨터 정보 공학부*, 경희대학교 전자공학과**

요 약

요즈음에는 GPS 및 GIS을 기반으로, 운전자에게 최단 경로탐색 및 예상도착시간을 인터넷 및 휴대폰으로 검색할 수 있다. 그러나, 아무리 좋은 자동항법 장치도 평균차량속도가 10-20 Km 일 때에는 최단경로를 생성할 수 없다. 그러므로 승용차대기시간과 평균차량속도를 개선하기 위해서, 서로 다른 교차로 길이 및 교차로 차선수 일 때에도, 퍼지 적응 규칙을 이용한 최적녹색시간 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서는 인터넷을 이용해서 위험한 도로, 공사중인 도로 및 목적지 예상도착시간 및 최적의 교통상황을 예보하는 기능을 제공할 수 있도록 하였다.

Abstract

Now days, It is based on GIS and GPS, it can search for the shortest path and estimation of arrival time by using the internet and cell phone to driver. But, even though good car navigation system does not create which is the shortest path when there average vehicle speed is 10 -20 Km. Therefore In order to reduce vehicle waiting time and average vehicle speed, we suggest optimal green time algorithm using fuzzy adaptive control, where there are different traffic intersection length and lane. In this paper, it will be able to forecast the optimal traffic information, estimation of destination arrival time, under construction road, and dangerous road using internet.

Key words : Optimal Traffic Signal Cycle, Vehicle Waiting Time, Spillback, Fuzzy Traffic Signal Light

1. 서 론

무선 인터넷이란 일반적으로 사용자가 이동 중 무선망(wireless network)을 통해 인터넷 서비스를 제공받을 수 있는 환경과 기술'을 일컫는다. 이동 통신의 발달과 더불어 시간과 공간을 초월한 인터넷 접속이 가능하게 된 것이다. 정보통신부가 지난 3월 공표 한 바에 의하면 이동 통신 사용자는 2,730만 명에 달하며 이는 전월 대비 62.6%가 증가한 것이다.

이 중 무선 인터넷을 이용하는 인구는 전체 대비 2~3%인 90만 명 가량으로 추정되며 아직 그 비중이 그리 크다고는 할 수 없다. 그러나 이동 통신 사용인구는 계속적으로 급증하고 있고 각 이동 통신 회사에서 무선 인터넷 관련 기술에 막대한 투자를 하고 있음을 감안할 때 교통 및 일기예보의 무선 인터넷의 활용은 가속화될 것으로 보인다. 한 보고서에 의하면 2005년에 이르면 전체 인터넷 이용자의 45%가 무선을 통해 인터넷에 접속할 것으로 예측한 것도 무리가 아닐 것이다 [1-2].

그러므로, 향후 2~3년 후에는 교통신호등의 연동화 개념과 CAR NAVIGATION의 일환으로 GPS(Global Positioning System)를 이용한 사용자의 현재 위치에 따른 지리정보 서비스(GIS)를 누구나 저렴하게 교통정보를 언제 어디서나 이용 할 수 있게 될 것으로 전망된다[3-4].

2. 교통 신호주기

최근 자동차의 급증으로 대도시의 자동차 정체 현상은 심각한 문제로 대두 되고있으며, 96년 이후, 총 물류비 64 조원 중에서 총 수송비가 42조 4 천 억 원, 교통 혼잡비용이 16 조원으로 매년 증가하고 있는 추세이다[5].

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[6-7]. 이러한 경우에는 최단경로 탐색기능이 상실되고 승용차 출발 손실 시간이 발생하게된다. 이러한 손실시간을 최소화하려면 교차로의 특성에 맞는 최적의 녹색시간을 산출해야 된다. 그러므로, 2장에서는 기존 신호등의 문제점을 알아보고 3장에서 최적신호주기 산출 및 퍼지 교통신호등 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 퍼지 교통 신호등의 시뮬레이션을 소개하고, 5장에서는 기존신호등과 퍼지 교통신호등의 장단점을 비교 분석한다.

본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용하여, 운전자가 무선 인터넷 을 이용해서 최적의 경로를 선택할 경우에도, 급경사, 도로의 차선 수, 도로의 조명상태, 사고 위험을 등을 고려한 최적의 경로를 안내해 주는 연구이다[8-10].

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

접수일자 : 2002년 11월 1일
완료일자 : 2003년 2월 5일

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

여기서, d = 교차로 정지지체(초/대)
 u = 유효녹색신호 시간비 (g/C)
 C = 주기장(초),
 x = v / c,
 c = 교통용량(vph)

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

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

그러나, 식(2,3)의 최적 주기장은 공사구간이나, 출퇴근시간에 갑작스러운 차량의 증가로 인해서, 교차로의 포화도가 높게 되면, 과도한 값으로 되어, 하위 교차로를 출발한 차량이 상위 교차로에 누적차량이 많이 대기하고 있기 때문에, 더 이상 상위교차로에 진입을 하지 못함으로써 앞 막힘 현상이 발생 하게되고 승용차대기시간 및 출발 소거 지연시간을 유발하기 때문에 퍼지 규칙을 이용하여 교차로 특성에 맞는 최적의 신호주기를 생성해야한다.

3. 최적 교통 신호주기 산출

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 앞 막힘 현상을 줄일 수 있다.

왜냐하면 똑같은 예상 통과차량 3대가 하위교차로를 출발해서 상위교차로에 진입을 할 경우, 만약, 소형 통과 차량이 모두 소형으로 구성되어있고, 차량 1대의 길이가 5 meter 로 가정하면 총 길이가 15 meter가 된다. 그러나, 예상 통과차량 3대가 모두 대형 차량인 경우, 만약 대형 차량 1대의 길이가 15 meter로 가정하면 총 길이가 45 meter가 된다.

그러므로, 수식 3에서 보는 것처럼, $Gin(t)$ 는 예상 통과 차량길이 $a(t)$ 에 의해서, 하위교차로 통과차량 3대 대기행렬 길이를 고려한 최적 녹색시간이 결정된다.

그러나 실제 교차로에서는 교통신호 1 주기 내에 통과하지 못하고 상위교차로에 누적차량이 있을 경우가 많기 때문에, 상위교 차로 누적차량 대기행렬길이를 고려한 최적녹색시간 $Gst(t)$ 는 수식 4와 같이 된다.

상위교차로에 진입을 함으로서 앞 막힘 현상이 발생하지 않는다. 그러나 표2에서는 똑같은 예상차량 4대지만 총 길이가 42meter가 되기 때문에 하위교차로를 출발한 차량 모두가 상위교차로에 진입을 못하게 되는 앞 막힘 현상이 일어난다.

다시 말해서, 최대 포화율인 30meter를 초과하므로 승용차대기시간 및 다음현시에 출발지연시간을 유발시킨다.

승용차 환산계수가 틀리다면 정확한 진행차량을 예측할 수 가 없고, 특히, 공사구간 및 출퇴근시간에는, 시시각각으로 변화하는 교차로 포화 상태에 의해서 앞 막힘 현상이 발생하기 때문에, 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 실시간에 차량흐름을 원활하게 처리 할 수 있는 퍼지 교통신호등

이 필요하게 된다.

$$Gin(t) = [P1(t), P2(t), P3(t)] * [a(t)] \quad (3)$$

$$Gst(t) = [P1(t-1), P2(t-1), P3(t-1)] * [a(t)] + [v(t)] \quad (4)$$

단, $Gin(t)$: 하위교차로 통과차량 대기행렬 길이를 고려한 최적녹색시간

$Gst(t)$: 상위교차로 누적차량 대기행렬 길이를 고려한 최적녹색시간

$P1(t)$: 하위교차로 예상통과차량 1

$P2(t)$: 하위교차로 예상통과차량 2

$P3(t)$: 하위교차로 예상통과차량 3

$a(t)$: 하위교차로 예상통과차량길이 (승용차 환산계수)

$v(t)$: 상위교차로 포화상태 (누적차량 대기행렬길이)

그러나, 똑같은 예상통과 차량이 하위 교차로(6차선)를 출발하여 상위교차로(2차선)에 진입할 때에, 상위교차로의 차선수가 현저히 줄어들기 때문에, 교차로 차선수 포화용량에 맞는 수식 (5)를 고려한 최적 녹색시간을 고려해야한다.

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

여기서, $G1(t)$: 차선길이를 고려한 최적 녹색시간 1

$G2(t)$: 차선길이를 고려한 최적 녹색시간 2

$G3(t)$: 차선길이를 고려한 최적 녹색시간 3

$p1(t-1)$: 전 현시 예상 통과 차량 1

$p2(t-1)$: 전 현시 예상 통과 차량 2

$p3(t-1)$: 전 현시 예상 통과 차량 3

$w1(t)$: 교차로 차선 수 (2차선).

$w1(t)$: 교차로 차선 수 (4차선)

$w1(t)$: 교차로 차선 수 (6차선)

뿐만 아니라, 상위교차로길이(100 meter) 와 하위교차로의 길이(300meter)가 같지 않기 때문에, 수식 6과 같이 교차로 길이를 고려한 최대 교차로 포화용량을 구해서 최적교통신호 주기를 수식 6과 같이 산출해야 한다.

$$\begin{bmatrix} G1(t) \\ G2(t) \\ G3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p1(t-1) \\ p2(t-1) \\ p3(t-1) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} L1(t) \\ L2(t) \\ L3(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서, $G1(t)$: 소형 교차로길이를 고려한 최적 녹색 시간

$G2(t)$: 중형 교차로길이를 고려한 최적 녹색시간

$G3(t)$: 대형 교차로길이를 고려한 최적 녹색시간

$p1(t-1)$: 전 현시 예상 통과 차량 1

$p2(t-1)$: 전 현시 예상 통과 차량 2

$p3(t-1)$: 전 현시 예상 통과 차량 3

$L1(t)$: 교차로 길이 (100 meter)

$L2(t)$: 교차로 길이 (200 meter)

$L3(t)$: 교차로 길이 (300 meter)

기존의 교통신호 주기 방법은 교차로의 차선수 및 길이를 고려를 안 했기 때문에 교차로에 차량이 많이 진입하는 출퇴근시간에는 교통신호주기가 현시와 맞지 않고 자동 항법장치를 이용해도, 최적의 우회경로조차, 자동차가 지 정체 구간에는 평균주행속도가 10- 20Km 이기 때문에 평균주행속도를 더 이상 개선 할 수 없게 된다.

그러므로, 요즈음, 출 퇴근시간과 같이, 갑작스러운 차량의 증가로 앞 막힘현상을 예방하려면 통과 차량길이, 교차로 차선길이, 교차로길이를 고려해야, 승용차 대기시간 및 출발소거 지연시간을 최소화하는 녹색신호주기를 생성할 수 있다.

4. 최적 교통 신호등 시뮬레이션

앞 막힘현상을 줄이고 평균주행속도를 개선하기 위해서는 3장에서 살펴본 것과 같이, 교차로의 거리가 일정하지 않고 각 차선에서의 포화차량의수, 누적차량의수, 대기차량의수가 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 루프 검지기를 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 진입 할 때에, 상위교차로의 차선 수나 교차로의 길이가 큰 경우와 작은 경우를 고려하여 그림 2와 그림 3에서 같이 최적의 녹색대기행렬 길이 $G(t)$ 를 구한다.

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

그림 2에서 보는 것처럼 주기 및 최적녹색시간을 구하기 위해서는 교차로 특성에 맞는 교차로 길이와 차선 수를 고려하여, 실시간 교통제어 시스템 최대주기길이의 예측이 가능하게 된다.

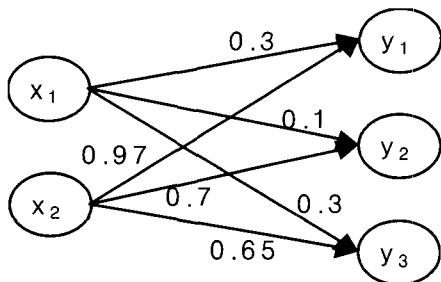


그림 1 퍼지 그래프
Fig. 1 Fuzzy graph

	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 2 퍼지 관계
Fig 2. Fuzzy relationship

즉, 교차로의 형태나 차선 수에 의해서, 같은 통과차량이 진입을 했을 경우에도 최적의 신호주기를 구하기 위해서는 그림 3에서 보는 것과 같이 대기차량의 길이를 고려하여 신호주기를 산출해야 한다.

$Gt1= Nveh * 3 + CFLane + Starting Delay Time + End Lag Time$
 $LostTimeG1=green-1(1/3 Pg) + Yellow Time(Pg + 1/2 Py) + Red Time(Pg + Py + 1/3 Pr)$
 $Gt2= Nveh *3 + Starting Delay Time$
 $LostTimeG2=green-1(1/21Pg)+YellowTime(Pg+1/2Py)+RedTime*(Pg+Py+1/2Pr)$
 $Gt3= Nveh * 3 * CFLane + Starting Delay Time + Road Conversion Time$
 $LostTimeG3=green-1(Pg)+YellowTime(Pg+1/2Py)+RedTime(Pg + Py + 1/2Pr)$
 $Gt4= Nveh * 3 + Delay Time$
 $LostTimeG3=green-1(1/4 Pg) + Yellowtime(Pg+ 1/4 Py) + Redtime(Pg + Py + 1/4 Pr)$
 $Gt5= Nveh * 3 * CFLane + Starting Delay Time + Road Conversion Time$

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
 $End Lag Time$: 진행 연장시간
 $Road Conversion Time$: 교차로 형태 보상시간
 $Lost Tme$: 승용차 대기시간
 Pg : 예상 녹색시간 Probability of Green Time
 Py : 예상 황색시간 Probability of Yellow Time
 Pr : 예상 적색시간 Probability of Red Time

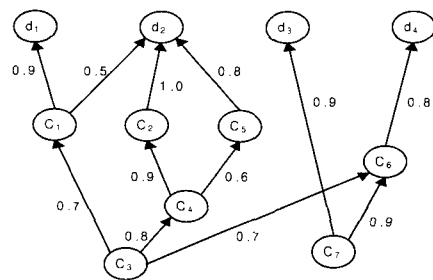


그림 3. 교차로 퍼지보정계수
Fig. 3 Fuzzy conversion factor of traffic intersection

$$D = \begin{pmatrix} & C1 & C2 & C3 & C4 & C5 & C6 & C7 \\ d1 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ d2 & 0.0 & 1.0 & 0.4 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.8 \\ d3 & 0.0 & 0.4 & 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 \\ d4 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 1.0 & 1.0 & 0.0 \\ d5 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.9 \\ d6 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 & 0.7 \\ d7 & 0.0 & 0.8 & 0.5 & 0.0 & 0.9 & 0.7 & 1.0 \end{pmatrix}$$

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

만약, 그림 3과같이 q(예상 통과차량 대수 and 교차로조건) = <0.6> and <0.8>이라면, 다음과 같은 녹색신호연장 주기 결과를 얻을 수 있으며 그림 5는 최적교통 신호주기 산출결과를 보여 주고 있다.

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

$$RSV*(d3) = \text{Max}[RSV1(d3)=0.2, RSV2(d3) = 0.7] = 0.2$$

$$RSV*(d4) = \text{Max}[RSV1(d4)=1.0, RSV2(d4) = 0.5] = 0.5$$

$$RSV*(d5) = \text{Max}[RSV1(d5)=0.6, RSV2(d5) = 0.9] = 0.6$$

$$RSV*(d7) = \text{Max}[RSV1(d7)=0.4, RSV2(d7) = 0.9] = 0.4$$

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 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 보정 계수를 입력하면 차선 수와 대기행렬길이를 고려한 예상소요시간을 그림 4럼 시뮬레이션 할 수 있게 된다.

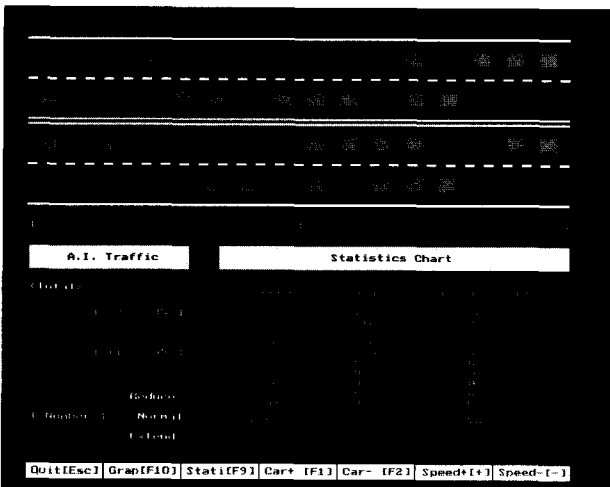


그림 5. 교통신호주기 시뮬레이션
Fig. 5. Traffic signal cycle situation simulation

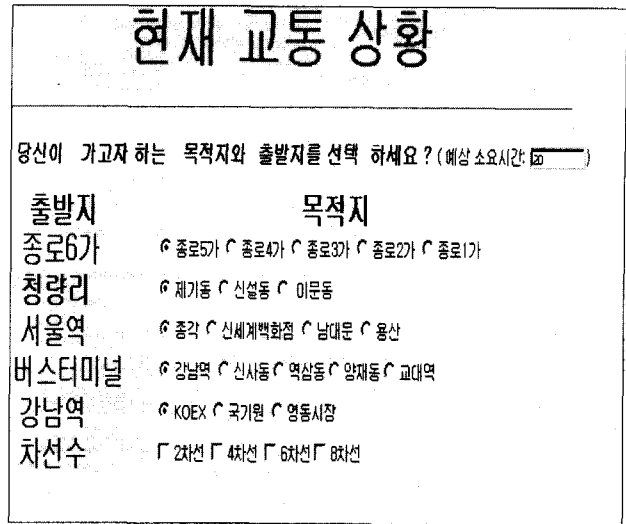


그림 4. 교통상황 시뮬레이션
Fig. 4. Traffic situation simulation

```
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="f0f0f0">예상거리
</font>(cm)</DIV></TD>
<TD><DIV ALIGN=CENTER><fontcolor="f12345">예상시간
</font></DIV></TD>
<TD><DIV ALIGN=CENTER><fontcolor="12345f">도로상황
?</font></DIV></TD>
</TR>
```

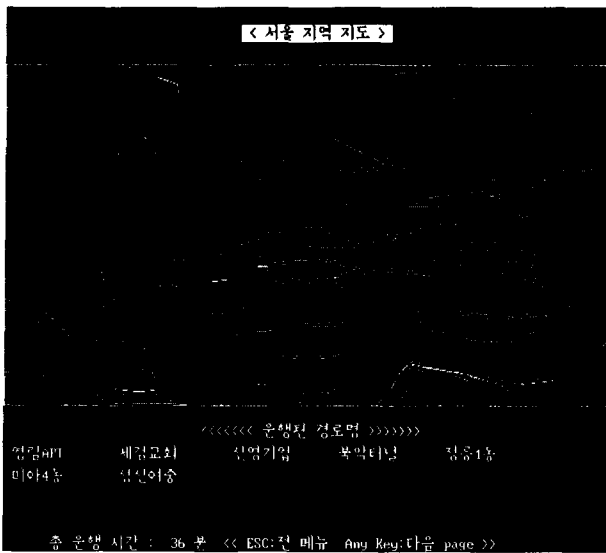


그림 6. 예상 도착시간 시뮬레이션
Fig. 6. Arrival time Simulation

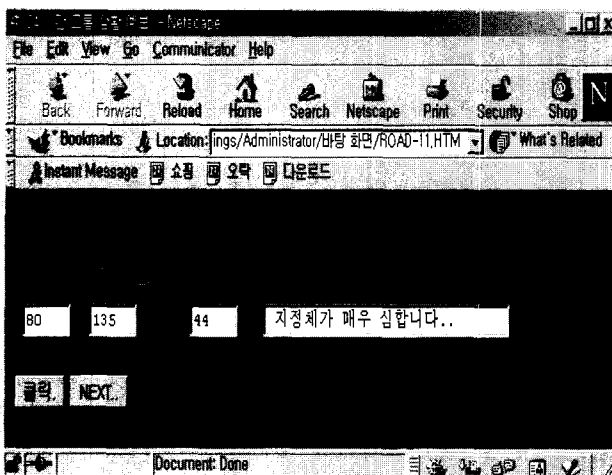


그림 7. 교통상황 시뮬레이션
Fig. 7. Traffic situation simulation

그림 6과 그림 7은 인터넷에서 출발지와 목적지지를 선택하면 교통상황과 예상도착시간을 안내해주는 시뮬레이션을 보여 주고 있다.

그러므로 본 논문에서는 표 1에서 보는 것과 같이 10 개 교차로 정보의 승용차 대기시간, 교차로 공사구간, 안전도, 평균 주행속도, 교차로 거리 정보를 입력하여, 안전도를 고려한 퍼지 규칙을 이용해서 교차로 조건 및 공사구간을 고려한 최단경로 및 지 정체 상황을 출력한다. 그림 8은 안전도를 고려한 최단경로 시뮬레이션 결과를 보여준다.

기존의 최단경로산출방법은, 교차로 공사구간, 교차로의 차선수 및 길이를 고려를 안 했기 때문에, 교차로에 차량이 많이 진입하는 출퇴근시간에는 평균주행속도가 10-20Km 이기 때문에, 최단경로 기능을 상실한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해서 퍼지 제어 개념을 사용했으며, 교차로 조건을 고려한 최적 녹색신호주기는 수식 (7)과 같다.

표 1. 프로그램 시뮬레이션
Table 1. Program Simulation

프로그램 시작 교통지도정보 Data화일을 Open (10-30분간격 UPDATE) 교차로 길이 조건을 고려한 최적주기 생성 교차로 차선 조건을 고려한 최적 주기생성 (교통지도 Data File이 끝날 때까지 반복 실행)
프로그램 (퍼지화) 교차로 조건을 고려한 교차로 정보 입력 승용차 대기시간, 최적녹색시간, 교차로 형태 교차로 조건을 고려한 예상통과차량 교차로 정보 Data화일 Close 안전도를 고려한 예상도착시간 비퍼지화 안전도를 고려한 최단경로 비퍼지화
지역정보처리 교차로 지역정보 처리 시작 교통 지도의 지역 및 사고 관련 정보를 조회한다. 교통지도의 지역 및 사고 Key Value Save 교차로 공사구간, 행사정보, 출퇴근시간 교통지역 및 사고처리의 반복실행 (Exit)
교통 지역 정보처리 종료 공사구간 및 , 정체 구간 30분 간격 UPDATE
Exit
목적지 예상 운행경로 및 시간 계산 운행경로 및 교차로 지정체 상황 계산 도시이름 및 사고 유형 정보 호출 운행경로 및 시간 계산 종료 안전도를 고려한 최단 운행 경로 출력 교차로 지정체 상황 출력
Exit

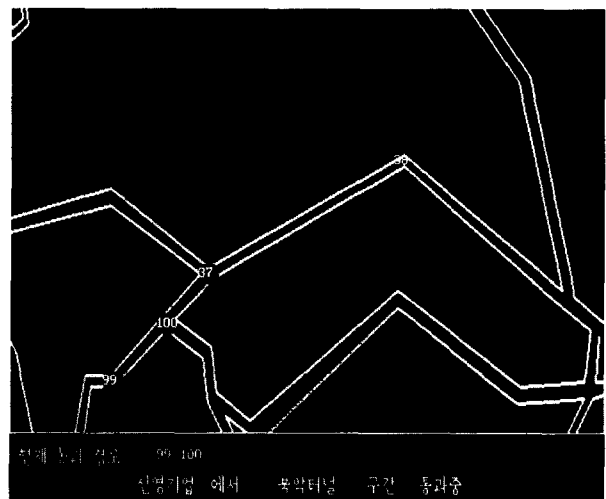


그림 8 최단경로 시뮬레이션
Fig. 8. Shortest path simulation

$$e=R-Y \quad (7)$$

$$Ce=e2-e1 \quad (8)$$

단, Y : 교차로 조건을 고려한 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 2. 퍼지 교통신호등 양자화
Table 2. Quantization of fuzzy traffic signal light

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 3. 퍼지 교통신호등 규칙
Table 3. Rule of fuzzy traffic signal light

E	C F	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

표 2는 교차로 조건을 고려한 최적 녹색시간을 산출하기 위하여 교차로 길이에 적합한 최대 행렬길이를 산출하기 위해서 실제 대기행렬길이를 표 1과 같이 퍼지 제어 입력 값으로 변환된다. 표 3에서 보는 것처럼, 최적 녹색시간 산출 규칙으로서 오차와 오차의 변화량이 없는 경우는 예상대기행렬 길이와 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 퍼지 규칙을 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 승용차 대기시간을 줄이고 평균 주행속도를 최적으로 산출할 수 있는 멤버쉽 함수 값을 보여주고 있다.

뿐만 아니라, 하위 교차로를 통과한 예상 통과차량은 공사 구간 및 출 퇴근 시간에, 교차로의 차선 수에 따라서 교통신호주기 생성에 큰 영향을 미치게 된다. 예를 들어서 하위 교차로의 차선수가 2차선이고 상위교차로가 4차선일 경우에 7

대의 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, 상위교차로와 하위교차로의 차선의 수 때문에 생기는 오차 변화량을 퍼지 규칙을 이용하여 승용차대기시간 및 출발 지연시간을 최소화 하는 녹색 신호주기를 그림 9에서 보는 것과 같이 생성하였다. 뿐만 아니라, 다 교차로에서 적용 가능한 최적의 녹색신호주기를 생성하기 위해서는 교차로의 길이 및 교차로 형태에 따라서 2장과 3장에서 설명한 것과 같이 녹색신호주기를 보정해 주어야 한다.

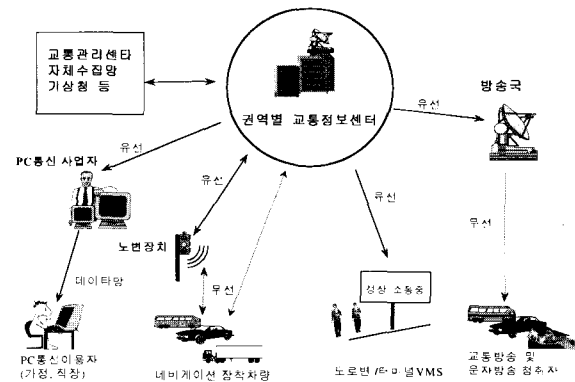


그림 9. 인터넷을 이용한 교통 상황 예보
Fig 9. Forecasting of traffic situation using internet

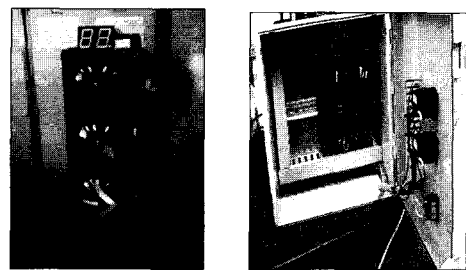


그림 10. 퍼지 교통 신호등 내부 및 외부
Fig 10. Inside and outside for fuzzy traffic signal light

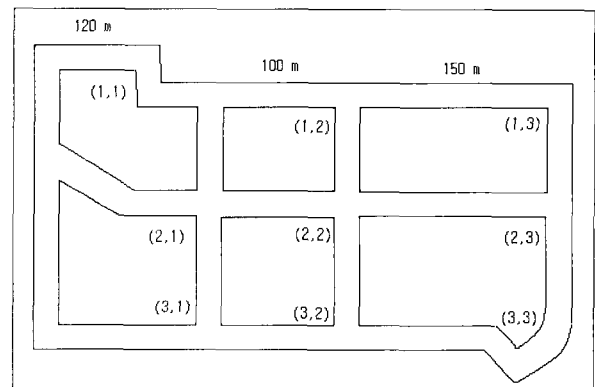


그림 11. 연동된 교차로 신호등 10개
Fig. 11 Coordination of 10 traffic signal light

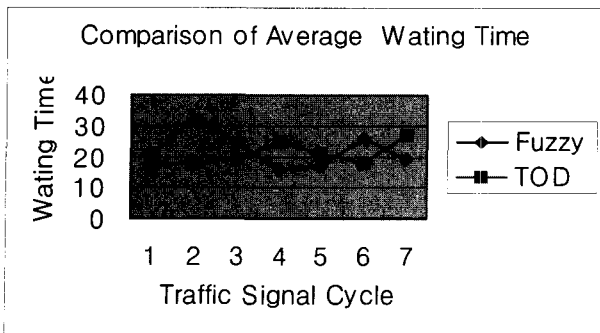


그림 12. 통과차량속도를 고려한 퍼지 교통신호등과 고정주 기신호 대기시간
 Fig. 12 Comparisons between fuzzy traffic signal light waiting time considering passing vehicle speed and T.O.D. traffic light

본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용하여서 교통체증이 심할 경우에 매 5분 단위로 교차로 10개의 교통상황을 그림 10과 같이 보고해주며 각 교차로의 차량 흐름에 따라서 최적의 녹색신호 주기를 생성함으로써 승용차대기시간을 단축시키고 평균 주행속도를 향상시키는 연구이다. 특히 명절이나 출·퇴근시에 교차로가 혼잡할 경우에는 최단 경로가 없을 정도로 도로의 지 정체가 심하게 된다.

본 논문에서는 인터넷을 이용하여 작은 교차로를 그림 11과 같이 10개씩 연동하여, 2장이나 3장에서 살펴본 것과 같이 평균 주행속도를 개선하고 승용차 대기시간을 줄일 수 있도록 퍼지 규칙을 이용하여 최적 녹색시간을 산출하였다. 뿐만 아니라, 교차로의 길이나 교차로의 차선 수에 적용 할 수 있도록 적응 퍼지 제어 개념을 도입하였다.

모의실험 프로그램에서, 교차로 중에, t_i 와 t_j 의 최단 경로의 개념적 거리 $distance(t_i, t_j)$ 는 다음과 같이 정의 되었을때, $distance(t_i, t_j) = w_{i,x1} + w_{x1,x2} + w_{x2,x3} + \dots + w_{x_n,j}$ 로 표시된다.

$distance(w_i, t_j) = t_i$ 와 t_j 를 연결하는 승용차 대기시간이고, $distance(s_i, t_j) = t_i$ 와 t_j 를 연결하는 도로 안전도상태를 나타낸다.

교차로의 거리와 승용차 대기시간의 최소값은 다음 수식으로 표시된다.

$$= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \text{Min}_{k=1, \dots, n} \text{distance}(w_{ij}, T_k)$$

$$= \text{DIS}(w_{i1} \text{ AND } \dots \text{ AND } w_{im}, T_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } T_n)$$

$$\text{DIS}(T_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } T_n, L_{i1} \text{ AND } \dots \text{ AND } L_{im})$$

교차로의 거리와 교차로 안전상태의 최소값은 다음 수식으로 표시된다.

$$= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \text{Min}_{k=1, \dots, n} \text{distance}(S_{ij}, T_k)$$

$$= \text{DIS}(S_{i1} \text{ AND } \dots \text{ AND } S_{im}, T_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } T_n)$$

$$\text{DIS}(T_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } T_n, L_{i1} \text{ AND } \dots \text{ AND } L_{im})$$

본 논문에서는 기존의 최단 경로알고리즘보다 향상된 10개의 교차로에 거리정보에, 승용차대기시간, 도로안전도상태를 추가함으로써, 출발지에서 목적지까지 도로상태가 안전한

최단경로검색과, 승용차 대기시간을 최소로 하는 검색기능을 추가하였다. 그러므로, 기존의 최단거리 검색은 도로가 공사중이거나, 비 포장길, 급커브 같이 위험한 도로를 최단경로로 선택하였을 때에 초보운전자나 초행길의 운전자는 사고의 위험성이 높아지게 된다.

본 논문의 알고리즘은 다음과 같다.

1. 시작점과 연결된 교차로 중 최소값을 가진 교차로에 Flag를 붙여 확정한다.
2. 확정된 교차로와 연결된 모든 교차로의 거리 및 승용차 대기 시간과 교차로의 안전도상태를 실시간으로 교통데이터에 저장해 둔다.
3. 모든 교차로에 Flag가 붙어 확정될 때까지 반복한다.

다시 말해서, 출발지에서 목적지까지의 도로안전도를 고려한 최단거리를 구하기 위해서는 10 분단위로 연결된 교차로 사이의 거리, 승용차 대기시간, 도로공사 등의 실시간 정보가 필요하다.

<< THE SHORTEST PATH >>

{s는 시작점, e는 끝점, min은 거리의 최소값}

{ t배열=승용차대기시간, d배열= 교차로거리,

s배열= 도로안전 위험도}

```

t[1][2]=15; t[1][3]= 9; t[1][4]=14; t[2][3]=16; t[3][4]=23;
t[2][5]=17; t[3][6]=36; t[4][7]=22; t[5][6]=33; t[5][7]=29;
t[5][8]=25; t[6][9]=23; t[7][10]=12; t[8][9]=21; t[9][10]=36;
t[1][2]=11; t[1][3]= 9; t[1][4]=41; t[2][3]=16; t[3][4]=33;
t[2][5]=37; t[3][6]=36; t[4][7]=22; t[5][6]=42; t[5][7]=21;
t[5][8]=35; t[6][9]=19; t[7][10]=12; t[8][9]=21; t[9][10]=42;
t[1][2]=25; t[1][3]= 29; t[1][4]=14; t[2][3]=16; t[3][4]=33;
t[2][5]=57; t[3][6]=46; t[4][7]=22; t[5][6]=33; t[5][7]=89;
t[5][8]=65; t[6][9]=73; t[7][10]=92; t[8][9]=21; t[9][10]=36;
begin
  write('시작 교차로 : ');readln(s);
  write('도착 교차로 : ');readln(e);
  for j:=1 to n do
  begin
    v[j]:=0; {방문상태 초기화}
    distance[j]:=m; end;
    distance[s]:=0; {자신에서 자신까지의 거리는 0이므로..}
  for i:=1 to n do
  begin
    min:=m;
    for j:=1 to n do
    {연결 곳중 최단거리이고 승용차대기시간이 최소, 안전도
    구간이 최소를 찾음}
    if (v[j]=0) and (distance[j]<min) and (t[j]<min) and
    (s[j]<min)then
    begin
      k:=j;
      min:=distance[j];
    end;
    v[k]:=1; {연결된 곳 중 최단거리인 곳을 확정}
  for j:=1 to n do
    if distance[k]+data[k,j]
    < distance[j] then {s->k->j의 거리
    distance[j]:=distance[k]+data[k,j]; {그 값(s->k->j의
    거리)을 j로 가는 최단거리로 저장}
  end;
  end;
  
```

```
writeln(s,'>',e,',',distance[e]);
end.
```

모의실험결과 큰 포화 및 미 포화일 때에는 승용차 대기 시간이 그림 12에서 보는 것처럼 18 - 35% 이상 단축시킬 수 있었다. 뿐만 아니라, 1주일 전에 각종 행사에 따른 교통량의 흐름을 분석하여 각 교차로의 포화교통량을 예측하는 실시간 시뮬레이션 프로그램, 교차로 10개를 연동 하여 무선 인터넷이나 휴대폰으로 목적지 도착예상시간과 최적경로 모의프로그램의 통합화 프로그램의 개발의 연구가 더욱 필요할 것으로 사료된다.

표 3. 포화상태에 따른 기존방식과 인공지능 신호주기비교
Table 3. Compare with A.I. traffic light depending on a saturation rate and a conventional traffic light

포화 상태	교차로 형태				차량 크기			대기 시간 비교	
	하위 차선	상위 차선	하위교차로 길이	상위교차로 길이	대	중	소	고정 주기	퍼지 신호등
82%	2	4	100meter	100meter	3	1	3	20	8 초
69%	2	4	70meter	100meter	2	2	1	20	4 초
54%	4	2	200meter	100meter	1	0	4	20	12 초
68%	4	4	100meter	100meter	2	2	3	20	15 초
58%	4	6	100meter	70meter	1	1	4	20	7 초
46%	2	4	300meter	100meter	3	2	5	20	15 초
80%	3	6	400meter	800meter	6	2	4	20	17 초
37%	6	6	100meter	200meter	2	2	3	20	5 초

표 3은 하위 교차로를 통과한 예상 통과차량은 교차로 차선수에 따라서 교통신호주기 생성에 큰 영향을 끼치게 되는 시뮬레이션 결과를 보여준다. 예를 들어서 하위교차로의 차선수가 2차선이고 상위교차로가 4차선일 경우에 7대의 예상 통과차량이 진입을 할 경우에는 녹색신호주기를 연장해도 무관하지만 그 반대의 경우에는 녹색신호주기를 단축해야만 한다.



그림 13. 평균 차량속도 시뮬레이션
Fig. 13. Average vehicle speed simulation

기존의 자동항법장치에서는 도로 안전도를 고려하지 않았으므로, 최적경로구간이 급커브가 심하거나, 공사구간, 교통사고 위험구간일 경우에는 초보 운전자가 사고를 일으킬 위험이 증가한다. 그러므로 본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용하여 도로의 기능이 안전한 순위로 최단경로가 선택 될 수 있는 기능을 제한한다. 그림 13은 인터넷에서 공사조건을 고려하여 색깔별로 안전도를 고려한 도로 순위를 표시해주는 시뮬레이션 결과를 보여준다.

< 자동차속도 검색 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); }
```

5. 결 론

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 상실 되고 승용차 출발 손실 시간이 발생하게된다. 이러한 손실시간을 최소화하려면 교차로의 특성에 맞는 최적의 녹색시간을 산출해야된다.

그러므로, 본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용하여 교차로길이 및 차선 수, 승용차환산계수, 직진 및 회전차수 보정 계수를 고려하여, 갑작스러운 교통량의 증가하는, 출퇴근시간에 승용차 대기시간을 줄일 수 있는 최적의 녹색 신호주기 알고리즘을 개발하였다.

본 논문에서는 인터넷에서 최적교통상황을 퍼지 규칙을 이용해서 교차로 조건에 맞는 최적의 교통정보를 얻을 수 있

고 기존의 자동항법장치에서 선택된 최적경로가 위험한 공사 구간이나 급경사구간 사고 다발 지역일 경우에는 퍼지 규칙을 이용하여 우선 순위를 구별하기 때문에 초보 운전자의 안전을 도모할 수 있도록 하였다. 향후 2-3년 안에 이러한 교통정보검색은 무선인터넷을 이용해서 가까운 병원이나 호텔 검색은 물론, 교통사고가 났을 경우에 자동으로 병원 및 가족에게 연락 할 수 있는 무선서비스가 상용화될 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

[1] Allsop,R.E.:Delay at a Fixed Time Traffic signal. I:Theoretical Analysis Transp. Sci.,6(3), pp.260-285, 1972

[2] 최광주, 김동현, 현영균, 이재형, 지정재, 이 병헌 "ITS DSRC", 무선인터넷백서 2001, p254-p256, 2000

[3] 김은형, "GIS선진기술 Monitoring 및기술확산", 1996, NGIS보고서

[4] 김기천, "모바일 IP 무선인터넷백서 2001" p126-p133 소프트뱅크미디어, 2000년

[5] "전국교통혼잡비용 19조", 한국일보, 2002년2월 17일.

[6] K.G. Courage and S.M. Parapar, "Delay and Fuel consumption at Traffic Signals", *Traffic Engineering*,Vol.45, Nov. pp.23-27, 1975

[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 Fuzy Systems*, pp.1526-1531,,Orlando,U.S.A.,1994.

[9] Hong,YouSik, Park,ChongKug,"Considering passen-ger Car Unit of Fu zzy Logic", *Proc. of the sixth International Fuzzy System Association*, IFSA, 1995, pp.461-464

[10] Moller, K. ,"Calculation of optimum Fixed-Time signal Programs Trans po rtation and Traffic Theory." *Proceedings of the Tenth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, July 8-10, MIT, USA, 1987

[11] 이광형, 오길록, "퍼지이론및 응용I", 홍릉과학사, 1991

[12] George J.Klir, "Fuzzy Ssts Uncertainty and Information", Prentice-Hall Inc, PP.69-93, 1993

[13] Dr. E. H. Mamdani "Fuzzy Reasoning Its Appli-cations", Academic Press, PP.310-323,1981

[14] 이영노, 김태환, 서일홍, "록업테이블을 이용한 자동 학습 지제어기의 설계에관한연구", *전자공학회논문지*, 제29권, B편 제 9호, pp.723-734,1992

[15] C.P. Pappies and E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for Traffic Junction", *IEEE Trans Systems*, VOL. SMC-7 NO. 10, pp. 707-712, 1975

저 자 소 개



홍유식(You-Sik Hong)

1984년 : 경희대학교 전자공학과(학사)
 1989년 : 뉴욕공과대학교 전산학과(석사)
 1997년 : 경희대학교 전자공학과(박사)
 1985년~1987년 : 대한항공(N.Y.지점근무)
 1989년~1990 : 삼성전자 종합기술원 연구원

1991년~현재 : 상지대학교 전산학과 부교수
 2000년~현재 : 한국 정보과학회논문지 편집위원
 2000년~현재 : 한국 인터넷 정보학회 학회지 편집위원

관심분야 : 퍼지시스템, 전문가시스템, 신경망, 교통제어
 Phone : 033-742-1121/0482
 Fax : 033-730-0480, 033-730-0603
 E-mail : yshong@mail.sangji.ac.kr



박종국(Chong-kug Park)

1971년 : 서울대학교 물리학과(학사)
 1975년 : 연세대학교 전자공학과(석사)
 1979년 : 연세대학교 전자공학과(박사)
 1987년~1988년 : 오레곤 주립대학교 교환교수
 1980년~현재 : 경희대학교 전자공학과 교수

1999년~현재 : SICE 재무 이사
 2000년~현재 : 경희대학교 공과대학 학장

관심분야 : 로봇틱스, 공장자동화, 적응제어, 퍼지이론
 Phone : 031-203-9600 / 031-201-2500(학장실)
 Fax : 031-281-9600
 E-mail : ckpark@khu.ac.kr