

# Design of Traffic Signal Controller using A.I.

## 지능을 이용한 교통신호제어기설계

경희대학교 전자공학과	상지병원 전문대학교	대림전문대학교 전자통신과	상지대학교 전자계산학과
박종국	정광손	박정일	홍유식
Park, Chong Kug	Jeong, Kwang Son	Park, Jeong Il	Hong, You Sik

### 개요:

본 논문에서는 평균 차량속도를 향상시키고 평균 차량대기시간을 줄이는 새로운 최적 교통신호주기산출방법을 제안한다. 전자교통신호등은 차량이 교차로에 많을 때에는 교통신호주기를 연장할 수 있고 교차로에 차량이 적을 경우에는 교통신호주기를 단축할 수 있다. 그러나, 요즈음과 같이 교통체증이 많아서 평균주행속도가 10Km - 20Km 로 서행우전할 수 밖에 없을 때에는 전자신호등의 기능을 수행할 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 승용차대기시간을 단축하기 위해서 최적 경로알고리즘을 사용하여 목적지까지 가장 빠르게 도착할 수 있는 교통신호설계 소프트웨어 Tool 을 개발하였다. 컴퓨터 모의실험결과 G.P.S.를 자동차에 내장하여 최단경로선택을 하는 차량이 기존의 최적경로선택기능이 없는 차량보다 승용차대기시간 및 평균주행속도가 10% - 32% 가량 개선시킬 수 있음을 입증하였다.

### Abstract:

This paper proposes a new concept of optimal shortest pass algorithm which reduce average vehicle waiting time and improve average vehicle speed. Electro sensitive traffic system can extend the traffic cycle when there are many vehicles in the traffic road or it can reduced the traffic cycle when there are small vehicles in the traffic road. But electro sensitive traffic light system dosen't controle that kind of functions when there average vehicle speed is 10km - 20km. Therefore, in this paper to reduce vehivle waiting time we developed design of traffic cycle software tool that can arrive destnatiion as soon as possible using optimal shortest pass algorithm . Computer simulation result proved 10% - 32% reducing average vehicle wating time and average vehicle speed which can select shortest route using built in G.P.S. vehicle better than can't select shortest route function.

### I. 서론

마침내, 우리나라 자동차 보유대수가 97년 7월 15일자 이후로 1, 000만대를 돌파했다. 이땅에 자동차가 최초로 도입된 1903년 교통황제의 캐달락 이래 94년만이고, 지난 85년 5월 100만대를넘어선 후 12년만에 10배가 폭증한 것이다. 서울의 교통난은 80년대 초반까지는 출퇴근 시간대를 제외하고는 시속 25~30km를 유지해왔지만 90년대들어 21.6 9km로 뚝 떨어졌다고 한다. 최근에 조사된 서울 도심의 평균주행속도를 개선하기위해서 화상검지기 및 루프검지기를 사용하는 전자신호 등의 연구가 진행되고있다[1-5]. 교통량이 심각하지않았던 1960년대에는 단순히 교통량의 변화에 따라서 최적 교통신호주기를 생성하거나, 승용차 대기시간을 단축하고, 평균주행속도를 향상하는 Webster 방식의 교통 최적주기신호를 생성할 수 있었다[6-7]. 그러나 기존의 교통신호등은 진행차량의 많고, 적은것과는 관계없이 항상 열정한 신호주기를 유지할 수 밖에 없기때문에 갑작스러운 차량의 증가나 감소시에는 신호주기를 연장하거나 단축시킬 수 없다. 그러므로, 최근에는 통과차량이 많을 때에는 신호를 연장하고, 통과차량이 적을 때에는 신호를 단축하여 과포화시 기존의 신호체계에서 발생하는 평균 대기시간을 단축하는 연구를 퍼지규칙 및 신경망을 이용하여 연구하고 있다 [8-15]. 교통전문기관 연구에 의하면 서울시의 신호운영체계개선으로 주행속도를 12% 개선하는경우 연간 절약되는 교통혼잡비가 2,200억원에 이를것으로 추정된다고한다. 그러므로 서울 및 전국의 대도시에서 신신호 전자신호 등의 연구 및 I.V.H.S. 의 1 단계사업으로 G.P.S.를 이용한 자동주행차량연구가 활발하게 진행되고 있다 [16-17].

그러나, 아무리 훌륭한 전자신호등도 교차로의 통과차량이 많은 출퇴근시간에는 교차로에서 발생하는 승용차 대기시간을 최소로하거나, 인접교차로의 신호주기를 연장하거나 단축하여 평균주행속도를 향상시킬 수 있는 연동기능을 효율적으로 산출하기가 어렵다. 본 논문에서는 도로교통체증현상을 완화하기 위하여, 인공위성에서 G.P.S.로 자동차의 위치정보를 수집하고, 각 교차로의 속도센서를 통해서 평균주행속도를 입력받은후에 shortest pass algorithm 을 사용하여 교통혼잡이 심하지않은 도로를 선택해서 평균대기시간 및 평균주행속도를 향상시키는 연구이다.

## II. 최적 교통신호주기생성

### 1. 교통신호제어방식

표 1 Offset의 4가지형태  
Table 1 4 Types of offset

Offset 형태	정 의	이 용 범 위
우선 Offset	어떤 한 방향에 우선하여, 넓은 연속통과 대를 부여하는 방식	조-식 침두시와 같이, 상-하행으로 교통량의 차이가 현저할 경우, 교통수요가 더 많은 방향을 우선시킬 경우
평등 Offset	상-하행 양방향에 대하여 연속 통과대의 폭과 연동 속도가 거의 동일함시 이용하는 방식	상-하행 방향으로 교통량이 현저하게 차이가 없는 경우
동시 Offset	연동노선에 따라 제어구간 내의 모든 신호를 거의 동시에 녹색신호로 표시하는 방식	신호간격이 짧은경우와 교통류의 포화도가 높고, 밀도를 분산시키는 경우
교호 Offset	연동노선의 각 간격마다 녹색신호로 표시되는것같이, 인접 신호기간의 상대 Offset을 50%로 설정하는 방식	교차로간의 거리를 연동속도 X주기상의 절반으로 거의 동간격으로 취하고 있는 경우

교차로가 근 포화상태일때에는 한 교통신호주기안에 상위교차로에 진입한 차량이, 하위교차로에 진입하도록 표1. 의 offset중에서 교차로의 상하행 방향에 따라서 offset을 선택하여 을 승용차대기시간을 최소로하고 평균주행속도를 개선시킬 수 있다. 그러나, 이러한 offset 산정방법은 교차로의 크기가 같고 각 시간대별로 승용차 평균주행속도가 같다고 가정했을때에, 교차로의 거리, 자동차속도에 적합한 최적의 offset을 산정할 수 있다. 그러나, 실제 교차로에서는 각 시간대별로 승용차 평균주행속도, 교차로간 거리, 자동차 속도가 각기 다르므로, 정확한 연동값을 산정하기가 어렵다.

$$D_u = \left\{ \sum_{i=1}^n m_i / N \right\} \cdot C \quad (1)$$

여기서,

$D_u$  : 균일지체시간 (대-시간/시간)  
 $m_i$  : 단계(step)t 동안의 대기행렬길이  
 $N$  : 신호주기동안의 단계의 수  
 $C$  : 신호주기(초)

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

여기서,

$D_{rs}$  : 균일지체시간과 초화상태에 따른 지체시간의 합  
 $T$  : 단위시간(일반적으로 60분)  
 $X$  : 포화교통류율(pcphg)  
 $v$  : 링크의 교통량(pcu)  
 $C$  : 신호주기(초)

$$D = D_u + D_{rs} \quad (3)$$

여기서,

$D$  : 총 지체시간(대-시간/시간)  
 $D_u$  : 균일지체시간(대-시간/시간)  
 $D_{rs}$  : 불균일지체시간과 포화상태에 따른 지체시간의 합(대-시간/시간)

### III. 퍼지규칙을 이용한 대기시간단축

교통혼잡을 해소하기 위한 방안은 혼잡의 정도에 따라서, 기존의 webster방식이나, 표1. 을 이용하여 단축할 수 있으나, 교차로의 크기, 자동차의 평균주행속도, 승용차 환산계수에 따라서 기존의 산출식으로는 승용차 지체 시간을 최소화하기가 어렵다. 본 논문에서는 그림 1 과같이 전처리로 신경망을 사용하여 승용차 환산계수를 산출한 후에 후처리로 퍼지규칙을 이용하여 평균주행속도를 개선하고 승용차대기시간을 단축하였다.

본 논문에 사용한 규칙은 다음과 같다.

상위교차로가 과포화인 경우,

High saturation rate (Upper Traffic intersection) ..... TRAFFIC CODE ( 111 )

```
IF    PCU is HIGH    ELSE PCU is SMALL
and   UST is HIGH    and   UST is HIGH
and   BST is HIGH    and   BST is HIGH

then  OS is SMALL   then  OS is MEDIUM
then  OSIG is SMALL then  OSIG is HIGH
```

Optimal traffic cycle=

Optimal traffic cycle=

Expecting car speed(High) \*Number of cars\* Traffic signal + 보상계수

하위교차로가 미포화인 경우,

Low saturation rate (Upper traffic intersection) ..... TRAFFIC CODE ( 100 ) OR (110)

```
IF    PCU is HIGH    ELSE PCU is SMALL
and   UST is SMALL   and   UST is SMALL
and   BST is HIGH    and   BST is SMALL THEN

then  OS is MEDIUM   OS is HIGH
then  OSIG is HIGH    OSIG is HIGH
```

Optimal traffic cycle=

Expecting car speed(High) \*Number of cars\* Traffic signal - 보상계수

여기서,

PCU 는 승용차환산계수  
 UST 는 상위교차로 포화도  
 BST 은 하위교차로포화도  
 OSH 는 예상 진행차량속도  
 OSIG는 예상교통신호주기

표 2. 퍼지신호등 예상차량속도규칙

Table 2. Expecting car speed rule of fuzzy traffic light

SATURATION		PCU	PCUH	PCUM	PCUL
U S T H	BSTH	S	M	M	
	BSTN	S	M	M	
	BSTL	S	S	M	
U S T M	BSTH	M	M	B	
	BSTM	S	M	M	
	BSTL	S	S	M	
U S T L	BSTH	B	B	B	
	BSTM	M	B	B	
	BSTL	M	M	B	

USTH:상위교차로 포화도 고 BSTH:하위교차로 포화도 고 PCUH: 승용차환산계수 고  
 USTM:상위교차로 포화도 중 BSTM:하위교차로 포화도 중 PCUM: 승용차환산계수 중  
 USTL:상위교차로 포화도 하 BSTL:하위교차로 포화도 하 PCUL: 승용차환산계수 하

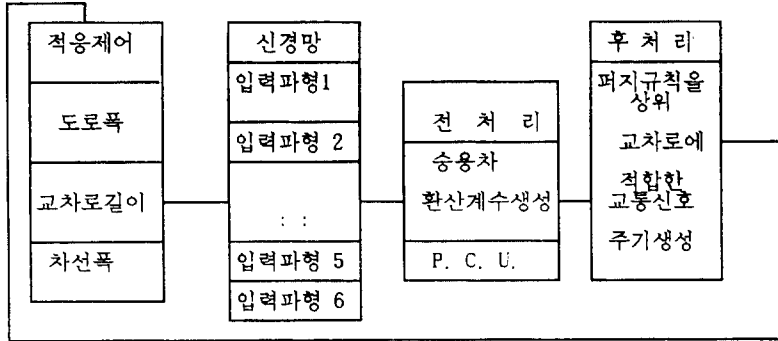


그림 1. 퍼지신경망을 이용한 최적주기신호 블록다이어그램

Fig 1. Block diagram of optimal traffic cycle light using fuzzy neural network

기존의 T.O.D. 신호등과 인공지능신호 등의 차이점은 다음과 같다.

(1) 상위교차로가 과포화 상태이고 하위교차로에 누적 차량이 많을 때

=====> T.O.D. 기존 신호등 : 고정주기 신호반복(신호주기 단축 불가능)  
 인공지능 신호등 : 상위교차로의 초화량에 근거한 신호주기 단축

(2) 상위교차로가 근포화이고 하위교차로에 누적 차량에 많을 때

=====> T.O.D. 기존 신호등 : 고정주기 신호반복(신호주기 연장 불가능)  
 인공지능 신호등 : 상위교차로의 초화량에 근거한 신호주기 단축

(3) 상위교차로가 근포화이고 하위교차로에 누적 차량에 적을 때

=====> T.O.D. 기존 신호등 : 고정주기 신호반복(신호주기 연장 불가능)  
 인공지능 신호등 : 하위교차로에 승용차 환산계수에 근거한 주기 산출

교차로에서 교통량의 주방향이 시간대별로 급격하게 바뀔 경우에는, 가변연동(Flexible Progression)을 사용하고, 교차로에 통과차량이 적을 경우에는 전방연동을 사용해서 한 신호주기에 상위교차로를 출발한 차량이 하위교차로에 진입할 수 있도록 하여 기존의 방법으로도 평균주행속도를 향상시킬 수 있다. 그러나, 교차로의 통과차량이 많아지는 과포화시에는 역연동 (Reverse progression)을 선택하여 하위교차로에 앞막힘현상이 발생하지 않도록 해서 출발지연시간을 줄여야 한다. 그러나, 기존의 T.O.D. 방법으로는 평균적인 최적의 신호주기를 표2. 에서처럼 산출하는 것이 불가능하므로 본 논문에서는 퍼지규칙 27개 및 자동차파형 3개를 신경망으로 학습시켜서 교차로의 조건에 맞는 최적의 교통신호주기를 생성시켰다.

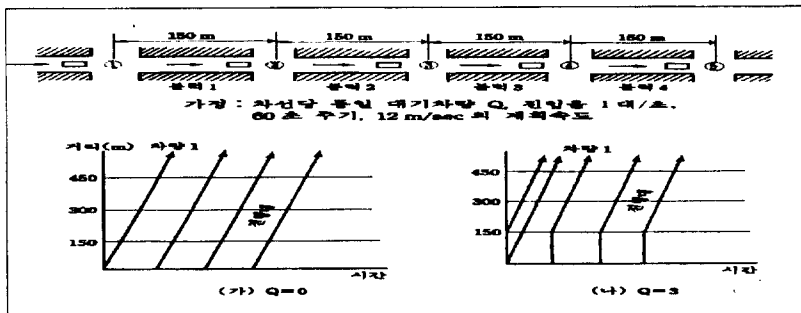


그림 2. 시간공간도 다이어그램  
 Fig. 2. Time space diagram

#### IV . 인공지능신호등 설계

```

void ai_short()
{
    /*          각 교차로의 평균 출발 지연시간을 입력받는다.          */
    /* 시작점에 연결되어있는 시작점마디의 출발지연시간 값을 구하고 최소값을 가진 마디를 찾은후 MARK 한다. */
    /* 최단거리 ROOT를 계산하기위해서 INDEX 에 보관한다. A를 경유하여 C에 이르는 길이가 그곳까지의          */
    /* 최단거리보다 적은경우에 적은값으로 경신한다          */
    /* 각 교차로 (1:A, 2:B,...) 승용차 대기시간 DATA */

    trf[ 1][ 7] = 5; trf[ 2][ 7] = 9; trf[ 3][ 8] =14; trf[4][13] = 10; trf[5][26] = 2;
    trf[ 6][19] = 2; trf[ 7][ 8] = 7; trf[ 8][ 9] = 1;
    trf[ 9][10] = 4; trf[ 9][12] =10; trf[ 9][17] = 8;
    trf[10][11] = 2; trf[10][16] = 1; trf[11][12] = 1; trf[11][15] = 3; trf[11][17] = 4;
    trf[12][13] = 2; trf[12][14] = 2; trf[13][14] = 1; trf[13][21] = 2;
    trf[14][15] = 1; trf[14][20] = 2; trf[15][18] = 4; trf[15][20] = 1;
    trf[16][17] = 3; trf[16][18] = 3; trf[17][19] = 3; trf[18][19] = 5; trf[18][24] = 2;
    trf[19][25] =12; trf[20][21] = 1; trf[20][24] = 3; trf[21][22] = 1; trf[21][26] = 9;
    trf[22][23] = 2; trf[22][25] = 3; trf[23][26] = 8; trf[24][25] = 3;
}

```

기존의 신호방식은 각 교차로에서 수집된 차량데이터를 주 신호기에 보내고, 주 신호기에서 offset 및 split를 분석하여 운영자가 조정함으로써 능동적으로 신호주기를 실시간으로 제어할 수 없을뿐만아니라, 갑작스러운 차량의 증가나 감소로 인해서 평균차량속도의 감소 및, 승용차환산계수에 의한 대기행렬의 길이가 달라질 경우에는 교통대용모드에 근거한 offset 및, split 패턴과 일치하지않기때문에, 운영자가 정확한 offset 및, split을 산출하기가 어렵게된다.

교통량이 증가하여 대기행렬의 길이가 매우 길어지면 역연동(reverse progression)을 선택하여야한다. 왜냐하면, 상위교차로의 녹색신호가 시작되기전에 먼저 하위교차로의 녹색시간이 시작되게끔하여 앞막힘현상을 방지하여야만 출발손실시간을 다음 현시(顯示)에 방지할 수있기때문이다. 그러므로, 대기행렬이 접근로의 길이보다 클때에는, Spill Back 현상이 나기때문에, Offset은 의미가 없어지며, 부적절한 Offset 값으로 인하여 오히려 대기행렬이 교차로를 점유하게 되고, 간혹, 이러한 현상은 부도로의 통행까지 제한하게 되어 인근지역 전체의 소통상태를 악화시키게 된다. 따라서 이러한 혼잡확산을 방지하기 위하여 대기행렬을 고려하여 앞막힘현상 방지 및, 승용차대기시간을 최소화하는 최적의 Offset을 결정해야 한다.

그러므로, 교통혼잡을 피하기위해서는 승용차대기시간을 최소화하는 최적의 Offset을 고려한 최적신호주기를 결정해야 한다.

/\* A. I. - Short Pass Algorithm \*/

```

printf(" start "); scanf("%d", &start);
for (k=1;k<=N; k++)
{
    speed[k]=M;          /* 다른 교차로까지의 평균 주행속도 */
    v[k]=0;              /* Confirm Flag */
}
speed[start]=0;
index[start]=0;        /* 최단거리 root */

```

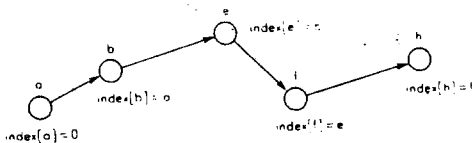


그림 3. 최단거리

Fig 3. Shortest pass Distance

/\* 최단거리 산출 알고리즘 \*/

```

for (k=1; k<N; k++)
{
  if (( speed[p]+a[p][k])<speed[k])
  {
    speed[k]=speed[p]+a[p][k];
    index[k]=p;
  }
}

```

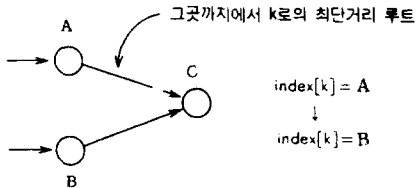


그림 4. 최단거리 찾기

Fig 4. Finding for shortest pass Distance

### V. 결론

요즈음과 같이 도심지 교차로의 평균주행속도가 출퇴근시간에 20km 미만으로 정체가 되었을 경우에 평균주행속도를 향상시키는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 승용차의 평균주행속도를 향상시키기 위해서는 각 교차로의 최적 포화용량을 산출하여 최적의 신호주기를 연동시킬 수 있다. 뿐만아니라 교차로에 차량이 많이 진입했을 때 발생하는 앞막힘현상을 예방할 수 있는 신신호 교통사업이 추진중이다.

그러나, 아무리 훌륭한 전자신호등도 교차로의 통과차량이 많은 출퇴근시간에는 교차로에서 발생하는 승용차 대기시간을 최소화하거나, 인접교차로의 신호주기를 연장하거나 단축하여 평균주행속도를 향상시킬 수 있는 연동기능을 효율적으로 산출하기가 어렵다. 그러므로, 본 논문에서는 도로교통체증현상을 완화하기 위하여, 인공위성에서 G.P.S.로 자동차의 위치정보를 수집한 것으로 가정하고, 각 교차로의 속도센서를 통해서 평균주행속도를 입력받은후에 shortest pass algorithm 을 사용하여 최적의 우회도로와, 승용차 대기시간을 최소화 할 수 있는 교통신호주기를 산출하는데 중점 연구를 하였다. 모의실험결과, 교통혼잡이 심하지않은 도로를 선택해서 평균대기시간 및 평균주행속도를 기존의 T.O.D. 방식과 비교한 결과 15% -27% 이상 개선할 수있음을 입증하였다.

표 2. 포화상태에 따른 기존방식과 인공지능식 신호주기비교

Table 2. Compare with A.I. traffic light depending on a saturation rate and a convelial traffic light

포화상태	속도 km/sec	차량의 크기			기존방식		인공지능방식	
		대	중	소	T.O.D.	대기 시간	WALK	대기 시간
88	13	3	1	1	30	10 초	20	3 초
74	12	1	2	1	30	14 초	20	0 초
55	15	1	0	4	30	10 초	20	3 초
68	08	2	2	3	30	2 초	20	6 초
51	30	1	1	4	30	6 초	20	1 초
34	32	3	2	5	30	10 초	20	15 초
43	35	1	2	2	30	10 초	20	3 초
32	37	1	1	1	30	18 초	20	0 초

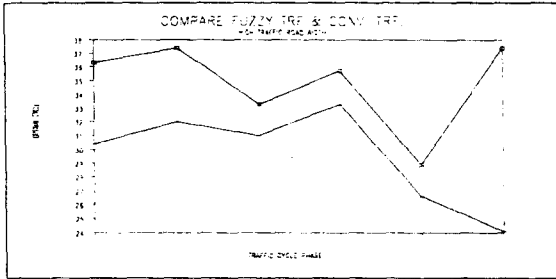


그림 5. 최단거리알고리즘차량과 기존차량의 승용차 대기시간비교  
 Fig 5. Comparisons with shortest pass algorithm vehicle and vehicle waiting time of conventional vehicle

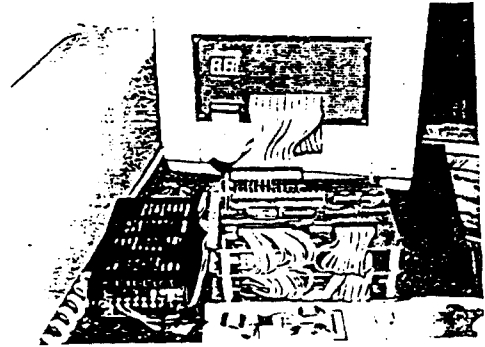


그림 6. Look up table 방식을 이용한 신호등 구현  
 Fig 6. Implementation traffic light using look up table method

參考文獻

- [1] 일반 교통신호 제어기 규격서, 경찰청, 1992.
- [2] 김홍상, "교통량 측정을 위한 감지기의 단시간 사용법," 한국 도로공사, 1990.12.26, PP.98-112
- [3] 한승춘, 화상검지기에 의한 신호교차로 교통특성분석, 아주대학교 공학석사학위 논문, 1992.8
- [4] 이승환, "우리나라의 전자교통신호시스템 개선방향", 한불산업정보, 제8권2호, 1990, PP.3-7
- [5] 이현재, "1,2,3차년 운영결과를 중심으로한 신신호시스템 효율성 평가와 향후대책" 경찰청,1994,1,25
- [6] TRB, Traffic Control in Oversaturated Street Networks. NCHRP Report 194, TRB,1978
- [7] Webster,F.V.andCobbe,B.m., Traffic Signals, Road Research Technical Paper No.56, Road Research Laboratory, London,1966 OECD, Traffic Control in Saturated Conditions, OECD ROAD Research Group,Jan. 1981,pp.11-20
- [8] C.P.Pappis, E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction",IEEE Trans. Syst.,Man,Cybern.,7(10),707-717,1977.
- [9] M.Jamshidi,R.Kelsey, K.Bisset,"Traffic Fuzzy Control: Software and Hardware Implementations",Proc. 5th IFSA, pp.907-910,Seoul,Korea,1993.
- [10] Hong,Yousik, Park ChongKug, "Consideringgg Passenger Car Unit of Fuzzy Traffic Light" , Proc. of the sixth International Fuzzy System Association, IFSA, pp 461-464,1995
- [11] Mohammad Jamshidi,"Fuzzy Logic and Control Software and Hardware Applications", Prentice Hall Inc, PP.262-278, 1993 Prentice-Hall Inc, PP.69-93, 1993
- [12] Dr.E.H.Mamdani "Fuzzy Reasoning Its Applications". Academic Press, PP.310-323,1981
- [13] Bart Kosko, "Neural Networks and Fuzzy Systems", Prentice-Hall International Inc, PP.308-336, 1992
- [14] 홍유식, 박종국 "신경망을 이용한 최적교통신호주기 결정" 한국퍼지학회, 제 6권 3호,pp. 3-14,1996
- [15] 김현수,"퍼지이론을 이용한 도시 교통신호등의 제어에 관한 연구",시립대학교 부설 수도권 개발 연구소 연구 논문 제 17 집,pp.97-103,1991
- [16] 이영중, 유춘희, " 글로벌 위치측정 시스템 ", 정보통신시대 제 7권, pp.121-140,1996
- [17] 정대영외 5인, "GPS 데이터 수신을 위한 하드웨어 설계", 대한전자공학회지, 32권, A편, 10호,pp1326-1335,1995