

퍼지 Look up Table 방식을 이용한 최적신호주기산출 Optimal Traffic Cycle using Fuzzy Look up Table Method

경희대학교 전자공학과
박 종국
Park, ChongKug

안산공업전문대학교 전기과
진 현수
Jin, HyunSoo

상지대학교 전산학과
홍 유식
Hong, YouSik

개요:

전자감응식은 승용차환산계수를 고려하지않음으로서 과포화상태에서 출발지연시간및 승용차대기시간을 유발하고 있다. 본 논문에서는 전처리로, 우선, 하위교차로의 승용차환산계수에의한 최적주기신호를 생성한다. 그러나, 간혹, 차량의무게,속도,통과부위때문에 최적주기신호를 부정확하게 산출할 수 있다. 그러므로, 후처리로 상위교차로의 포화 상태비율에 의한 Feed-Back된 데이터를 이용한 퍼지제어를함으로서, 과포화시에, 승용차대기시간및, 출발지연시간을 감소시키는연구이다. 뿐만아니라, 과포화상태에서 앞막힘현상을 예방제어하기위해서 포화상태비율, 도로길이, 도로경사도, 도로폭등이 같지않은 상위교차로에서도 앞막힘현상을 예방제어할 수 있도록하였다.

Abstract:

Electro sensitive traffic system can't consider passenger car unit, so, it causes start up delay time and passenger waiting time. In this paper, it antecedently creates optimal traffic cycle of passenger car unit at the bottom traffic intersection. But, sometimes it can make mistakes due to changes in car weight, car speed, and passing area. Therefore, it consequently reduces the car waiting time and start-up delay time using fuzzy control of feed-back data. Moreover, to prevent spillback, it can adapt control even though upper traffic intersection has a different saturation rate, road length, road slope and road width.

I. 서론

예측할 수 없는 교통량의 속도, 승용차환산계수 등이 기존의 모형과 큰 차이가 발생할 경우에는 최적의 offset 값을 산출하기가 어렵게된다^[1-2]. 그러므로, 교통효율을 높이기 위해서는 교통량이 많은 방향에 우선권을 부여하여 offset을 설정하도록 하여야 한다. 즉, 교통유입량이 많은 출근시간에는 유입방향우선으로 offset 값을 설정하여 주고 반대로 도심 유출방향 교통량이 많은 출근시간에는 유출방향우선으로 offset 값을 설정하여 준다. 반대로 도심 유출방향 교통량이 많은 퇴근시간에는 유출방향우선으로 offset 값을 설정하여 주는 것이 신호 운영을 효율적으로 운영하는 것이라 할 수 있다^[3,4].

과포화를 예방하기 위해서 루프디텍터의 차량검지원리^[5,6] 및 앞막힘방지를 완화시키는 퍼지규칙^[7,8] 이용한 알고리즘에 관해서 알아본다. 그러나 루프검지기를 통과한 차량속도와 통과부위에 의해서 통과차량 과형값이 변하기 때문에 통과차량속도가 저속이거나 고속인 경우, 통과차량이 루프검지기를 완전히 통과하지않고 루프검지기를 1/2, 1/4, line을 통과한 경우에는 전처리과정에서 승용차환산계수를 오 인식 할 수있다. 그러므로, 본 논문에서는 퍼지규칙 27개를 이용한 퍼지 look up table 방식에의한 hardware를 제작하여 승용차대기시간을 향상시켰다.

II. 교통신호제어방식 및 최적신호주기

1. 교통신호기의 종류

최초의 교통신호기는 1868년 영국 런던에서 처음 사용되었다. 이 장치는 신호기등에 arm을 매달아서, 이를 수동식으로 올리거나 내림으로써 정지, 진행 및 주의신호를 나타내었다. 교통신호기는 고정주기신호기(pretimed-signal controller)와 교통대응신호기(traffic responsive controller)의 두 가지로 분류될 수 있다. 고정주기신호란 미리 정해진 신호등 시간계획에 따라서 월별 교통량, 일별 교통량, 시간 교통량의 통계수치를 미리 입력시켜서 교통상황에 즉시 대응하는 실 시간처리가 아니고, 해당 시간대의 입력된 값에 의해서 제어하는 방식이다. 만약, 해당 시간대의 값이 교통량의 갑작스러운 증가나 감소로 인해서 교통신호 현시와 맞지 않을 경우에는 교통체증을 유발시킨다. 교통 대응신호기란, 4 가지의 교통감응신호(traffic actuated signal)로 다시 분류될 수 있다.

2. Webster방식 최적 주기 산출방법

각 현시별 유효 녹색등(effective green light time)은 도착교통량을 모두 수용해서 主車線(critical lane volume)만의 신호주기를 구하는 Greenshields의 방법과 도착교통량의 처리여부에 관계없이 차량의 총지체를 최소화하는 Webster방법의 두가지가 있다. 그러므로 이 두가지 방법으로 구한 신호주기는 통상 같은 값을 갖지 않는다. Webster방식으로 최적 주기(optimal signal cycle) c_0 는 다음 (1)식에 따라서 구할 수 있다.

$$c_0 = \frac{1.5l + 5}{1 - y} \quad (1)$$

여기서,

c_0 : 최적주기시간 (optimal cycle time)

: 교통지체를 최소화하는 최적주기 (초)

y_i : q_i/s

q_i : 누적상태일때의 차량비 (1 : 누적 , 0 : 통과)

s : 포화상태 일때의 차량비

l : 전체 손실시간 ==>

진행연장시간(end-lag time) + 출발연장시간 (start-up delay time)

주기를 구하는 이들 두 가지 방법은 근본적으로 교차로의 운영효율을 어떤 기준으로 파악하느냐에 차이가 있다. 첫번째 방법은 도착 교통량을 모두 수용하는 주기, 즉 용량에 관점을 둔 것이며, 반면 Webster방법은 도착교통량의 처리여부에 관계없이 차량의 총지체를 최소화하기 위한 방법이다. 이 두 가지 방법으로 구한 주기는 통상 같은 값을 갖지 않는다. 앞의 예제에서 PHF=0.85, 출발지연시간 2.6초, A,C 접근로의 주차선 교통량(critical lane volume)은 직진 650, 좌회전 100 pcph이며, B, D 접근로의 주차선 교통량은 직진 450, 좌회전 200이라 할 때, 주차선 방법으로 최소주기를 구하면 다음과 같다.

$$C = \frac{2(4.2+4.4)+4(2.6)}{1 - \frac{1.6(650+450)+1.7(100+200)}{3600 \times 0.85}} = 107 \text{ 초} \quad (2)$$

또, Webster 방법에 의하면 통행연장시간을 1.5초라 한 때 한 주기당 총 소거(消去) 손실시간은 $2(2.6+4.2-1.5)+2(2.6+4.4-1.5)= 21.6$ 초이며 적정주기는 다음과 같다.

$$C = \frac{1.5 \times 21.6 + 5}{1 - 0.6888} = 120\text{초} \quad (3)$$

이와같이 해서 구한 두 가지의 주기 가운데 지체를 최소로 하는 적정주기를 사용하는 것이 좋다. 만약 이 값이 140초를 넘으면 좌회전을 금지하는 등 현시수를 줄이는 방안을 검토한다.

III. Offset을 이용한 대기시간단축

혼잡을 해소하기 위한 방안은 혼잡의 정도에 따라 여러 단계로 나누어 적용할 수 있으며 신호제어의 측면에서 볼 때 대략적으로 다음과 같은 대안들로 나눌수 있다. 첫째, 과포화 지역의 유입 억제 계획 (metering plans), 둘째, 링크길이를 고려하여 보다 짧은 주기길이의 적용, 셋째, 상류부 교차로의 부도로(side street)에 대한 equity offset, 넷째로 특정방향에 주로 녹색시간을 제공하는 불균형 현시율(imbalance split), 계획 등이 그것이다. 연동을 위한 제어전략에는 단순연동 (simple progression), 전방연동 (forward progression), 가변 연동 (flexible progression), 역연동 (reverse progression) 등이 있다.

㉠ 동시식 연동신호 시스템

일련로 연결된 모든 교차로의 신호등이 동시에 녹색신호를 나타내는 방식으로, 모든 신호의 offset을 0으로 한 것이다. 교차로 간격이 매우 짧고 간선도로상의 교통량이 매우 많아 현시율의 60~70%정도인 곳에 설치하면 효과적이지만, 교통량이 특별히 많지 않은 곳에는 바람직하지 않다. 또한, 이 방식은 일반적으로 교통용량을 감소시키고, 모든 차량을 정지시키므로 녹색신호시 무리한 속도를 야기시키는 단점이 있다.

$$\frac{L_s}{V} + \frac{L_s}{V} = 2C = \frac{2L_s}{V} \quad (4)$$

$$L_s = 2\left(\frac{CV}{2}\right) \quad (5)$$

$$L_s = (0, 2, 4, 6, \dots, N_{\text{even}}) \times P$$

여기서

V : 속도 (m/sec)

C : 주기 (sec)

L_s : 동시신호를 위한 최적 거리 (m)

P : 공간 주기 계수 (CV/2)

동시운동체계는 교차로 간격이 비교적 짧거나 속도가 대단히 높으면 연속적인 주행이 가능하지만 일반적인 경우에는 연속적인 주행이 가능하지 않다. 왜냐하면 이때는 아주 짧은 주기를 사용해야 하기 때문이다. 또 교차로 간격이 매우 균일해야 할 필요가 있는데 식(2.15)로부터 길이 L이 일정한 C에서 속도를 균일하게 유지할 수 있기 때문이다.

㉔ 교호식 연동신호시스템

연속적으로 인접된 신호기 또한 신호기군의 신호를 교대로 녹색과 청색으로 표시하는 방식이다. 현시율이 50%가 되어야 하므로, 교차로간 거리가 일정하여 신호기가 일정간격으로 설치되어 있을 때에는 그 간격이 주 기장과 설계속도의 곱이 1/2이 되는 조건을 만족하는 곳과 격자형 가로에만 적합하다. 단일교호시스템과 2중교 호시스템을 주로 사용하고 있다.

$$\frac{L_A}{V} + \frac{L_A}{V} = IC = \frac{2L_A}{V} \tag{6}$$

$$L_A = 1\left(\frac{CV}{2}\right) \tag{7}$$

$$L_A = (1, 3, 5, 7, \dots, N_{\text{odd}}) \times P$$

여기서,

V : 속도 (m/sec)

C : 주기 (sec)

L_A : 교호신호를 위한 췌적거리 (m)

P : 공간 주기 계수 (= CV/2)

IV. 퍼지 규칙을 이용한 과포화 예방

1. 통과차량 검지원리

루프검지기는 도로위에 매설된 루프위의 검지영역을 통과할때 통과차량으로인한 인덕턴스의 변화를 감지하 여 차량의 유무, 속도를 검지한다. 루프검 지기는 도로위에 매설된 2~4회의 회전수를 가진 루프로 형성된 검 지영역과 검지장치, 그리고 도입케이블로 구성되어있다. 즉, 루프시스템에서는 차량이 통과하지 않을 경우에는, 도로위에 매설된 루프 코일과 인입선까지의 루프 케이블에 일정한 인덕턴스에 비례하는 자속이 발생한다. 차량 이 통과하지 않을 때에는 루프검지부는 일정한 인덕턴스(lnv)값을 갖게 되고 차량이 통과하는 경우 차량과 루 프 검지부와 상호작용하여서 인덕턴스(Δlv)변화가 일어난다. 이 인덕턴스의 변화에 따라서 차량의 존재 유무, 통과속도등을 알 수 있다.

2 퍼지규칙을 이용한 승용차환산계수산출

0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0 1 0	0 0 1 1 0	0 0 1 0 0
0 0 1 0 1	0 0 1 0 1	0 1 0 1 0
1 1 0 0 1	1 1 0 0 1	1 0 0 1 1

통과속도 10Km미만
소형 자동차

통과속도 10-20km
소형 자동차

통과속도 20km이상
소형 자동차

0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0
0 1 1 1 0	0 0 1 0 0	0 0 0 1 0
0 1 0 1 0	0 1 0 1 0	0 0 1 0 1
0 1 0 1 0	1 0 0 0 1	0 1 0 0 1
1 0 0 1 1	1 0 0 0 1	1 0 0 0 1

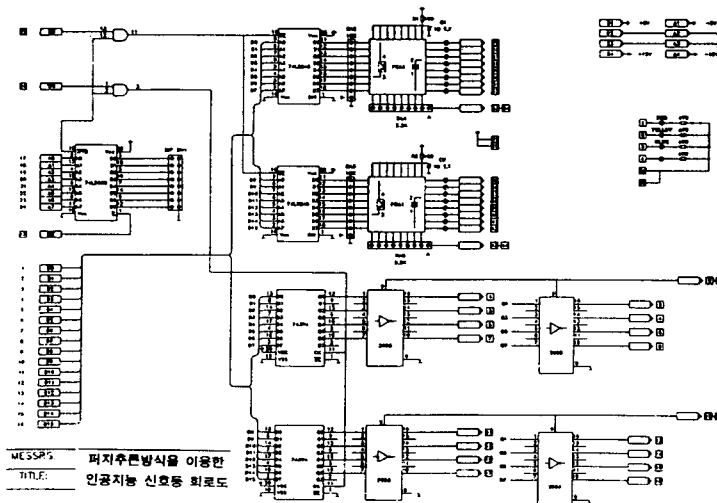
0 1 1 0 1	1 1 0 1 1	0 1 0 1 0
1 0 1 1 1	1 1 1 0 1	1 1 0 1 1
1 0 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1
1 0 0 0 1	1 0 0 0 1	1 0 0 0 1
통과속도 20Km미만 대형 버스	통과속도 20km이상 대형 버스	통과속도 20km이상 대형 트럭
0 0 0 0 0		
0 1 1 0 0		
1 0 1 0 1		
1 0 0 1 1		
1 0 0 0 1		
통과속도 20Km미만 대형트럭		

그림 1. 10 종류 차량입력데이터
Fig. 1. 10 Kinds of vehicle input data

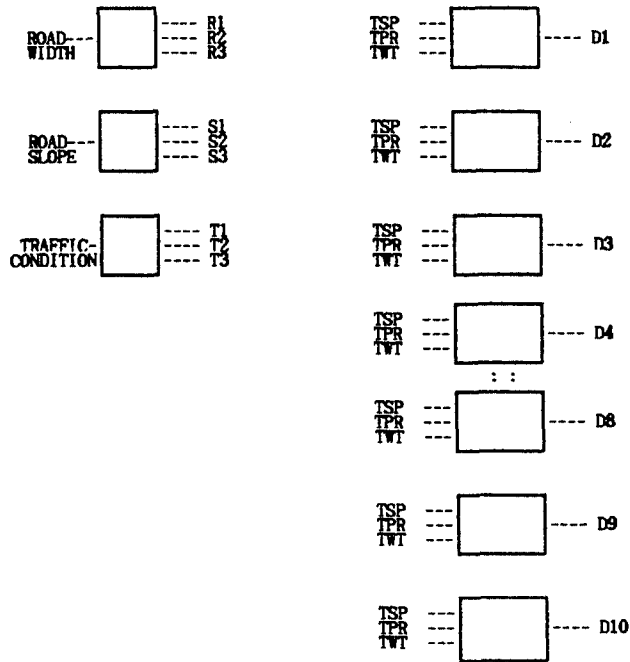
3. Look up table 방식을 이용한 Hardware 구성

퍼지규칙 27개를 사용하여 예상 승용차환산계수및 예상차량속도에의한 Look up table에 TSP(차량속도), TPR(루프디랙터 통과부위) TWT(자동차무게) 를 읽어서 각 번지수에 추론된 결과값을 산출한다.

	INPUT			OUTPUT	
	TSP	TPR	TWT	OP	OS
0000	1-20	1-30	400-1000	1.5	3.0
0001	1-20	31-60	400-1000	1.3	3.0
0010	1-20	61-100	400-1000	1.2	2.8
0011	1-20	1-30	400-1000	1.5	3.0
0100	1-20	31-60	400-1000	1.3	3.0
0101	1-20	61-100	400-1000	1.2	2.8
0110	41-60	1-30	400-1000	1.5	3.0
:	:	:	:	:	:
11000	41-60	1-30	2001-4000	1.7	3.0
11001	41-60	31-60	2001-4000	1.6	3.2
11010	41-60	61-100	2001-4000	1.9	3.5



BLOCK 1



BLOCK 2 (Defuzzification Block)

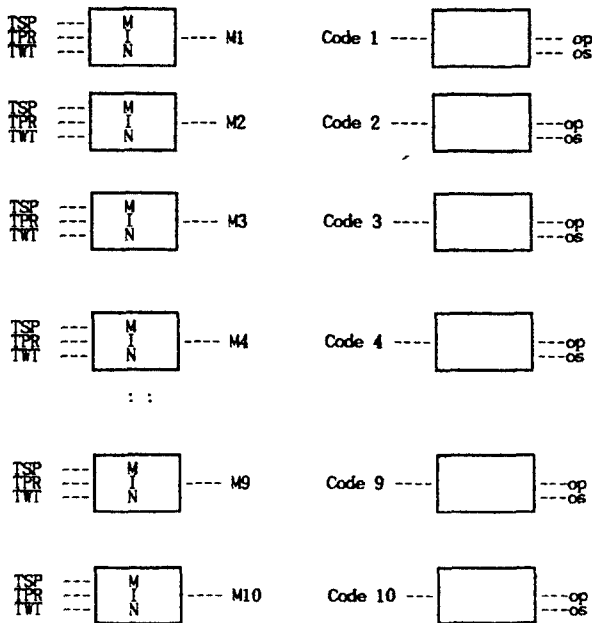


그림 2. 룩업테이블을 이용한 퍼지교통신호등 블럭다이어그램
 Fig. 2. Blokdiagram of fuzzy traffic light using look up table

```

Program K_ITEE01;

var
  argu,KF,KTOT      : real;
  KAREA1,KAREA2,KAREA3 :REAL;
  N,KN,KW : integer ;
  UD_CHK :INTEGER;
  rdw,ldw : real      ; (* ROAD WIDTH, LINE WIDTH *)
  spd      :integer   ; (* CAR AVERAGE SPEED *)
  T_PQ,B_PQ:INTEGER ; (* NUMBER OF PASSING CARS *)
  TPQ1,TPQ2,TPQ3 : INTEGER;
  BTQ1,BTQ2,BTQ3 : INTEGER;
  ALPHA    : real;
  spl,bw,bP : INTEGER;
  D_FUZZY1,D_FUZZY2:REAL;
  MAX1,MAX2,MAX3 :real;
  MIN1,MIN2,MIN3 :REAL;
  TOP,TOS      :REAL;
  PCU          :INTEGER;
  OSP          :REAL;
  TOPQ,TPRQ,TSPQ :REAL;
  H,L,M        :REAL;
  OPT_CYL,OPT_CYL2 :REAL;
  R_WH,RSLP:REAL;
  KS: ARRAY [1..27] OF REAL;
  OP:ARRAY[1..27] OF REAL;
  (* OPTIMAL PASSENGER CAR UNIT *)

  OS:ARRAY[1..27] OF REAL;
  (* OPTIMAL VEHICLE SPEED *)
  I,J,K:INTEGER;
  SUM:REAL;

const

  Dk=0.1; Dk1=0.3; Dk2=0.5;
  osh=2.5; osm=3.0; osl=3.5;
  pspb=10; psb=7; psm=5; psl=3;
  alpha1=5.9;
  alpha3=3;

  PROCEDURE REV_1;

  BEGIN
  GOTOXY(230,230);

  GOTOXY(100,100);
  WRITELN('*****');
  WRITELN('*                               *');
  WRITELN('* TRAFFIC CONTRL LAB              *');
  WRITELN('*                               *');
  WRITELN('* ROAD WIDTH = 3.0 METER...TYPE => 1 *');
  WRITELN('* ROAD WIDTH = 3.4 METER...TYPE => 2 *');
  WRITELN('* ROAD WIDTH = 3.9 METER...TYPE => 3 *');
  WRITELN('*****');

```

```

READLN(RDW);
IF RDW = 1 THEN

    BEGIN
        R_WH:=3.0;
    END;

    IF RDW = 2 THEN
        BEGIN
            R_WH:=3.4;
        END;

    IF RDW = 3 THEN
        BEGIN
            R_WH:=3.9;
        END;

```

(***** RULE 1 *****)

```

If(PCU>100)and(PCU<=120)and(1<TPR)and(30<=TPR)and
(TSP>=900) and (TSP<=1201) then

```

```

Begin
TOP:=OP[1];
Tos:=OS[1];

```

```

D_FUZZY2:=3.5;
B_LINE:=D_FUZZY2;
U_LINE:=D_FUZZY2*(1-MINI);
KAREA1:=(B_LINE+U_LINE)*TOPQ;
KAREA2:=(B_LINE+U_LINE)*TPRQ;
KAREA3:=(B_LINE+U_LINE)*TSPQ;
OPT_CYL:=BP*(KAREA1+KAREA2+KAREA3/KF);
OPT_CYL2:=BP*OP[1]*OS[1];
NON_FUZY:=BP*3.0;
CONV:=T1-(BP*3.0);

```

```

IF (UD_CHK=100) OR (UD_CHK=110) THEN
    S_COND:='SMALL';
IF (UD_CHK=111) THEN
    S_COND:='HIGH-';

```

```

End;

```

```

BEGIN (***** MAIN *****)

```

(* CHECK THE TRAFFIC ROAD CONDITION *)

```

S[1]:='***** HIGH SATURATED CONDITION *****';
S[2]:='***** MEDIUM SATURATED CONDITION *****';
S[3]:='***** LOW SATURATED CONDITION *****';
OP[1]:=1.5; OP[2]:=1.3; OP[3]:=1.2; OP[4]:=1.5; OP[5]:=1.5;
OP[6]:=1.5; OP[7]:=1.5; OP[8]:=1.5; OP[9]:=1.5; OP[10]:=1.6;
OP[11]:=1.5; OP[12]:=1.8; OP[13]:=1.8; OP[14]:=1.6; OP[15]:=1.7;
OP[16]:=1.7; OP[17]:=1.5; OP[18]:=1.3; OP[19]:=1.5; OP[20]:=1.4;
OP[21]:=1.3; OP[22]:=1.5; OP[23]:=1.4; OP[24]:=1.5; OP[25]:=1.7;
OP[26]:=1.6; OP[27]:=1.9;

OS[1]:=3.0; OS[2]:=3.0; OS[3]:=2.8; OS[4]:=2.9; OS[5]:=2.8;
OS[6]:=2.5; OS[7]:=3.0; OS[8]:=2.6; OS[9]:=2.5; OS[10]:=3.0;
OS[11]:=3.0; OS[12]:=2.8; OS[13]:=2.8; OS[14]:=2.8; OS[15]:=2.8;
OS[16]:=3.1; OS[17]:=3.0; OS[18]:=3.5; OS[19]:=3.0; OS[20]:=3.0;
OS[21]:=3.0; OS[22]:=2.5; OS[23]:=2.8; OS[24]:=2.8; OS[25]:=3.0;
OS[26]:=3.2; OS[27]:=3.5;

```



```

assign(infile2,'TRF-NS.DAT');
ASSIGN(INFILE3,'TRF-EW.DAT');
ASSIGN(OUTFILE2,'K-OUT2.DAT');
assign(outfile3,'T-OK.dat');
RESET(INFILE2);
REWRITE(OUTFILE2);
REWRITE(OUTFILE3);
REV_1;
while not EOF(infile2) do
  BEGIN
    readln(infile2,UD_CHK,PCU,TPR,TSP,BP);
    PRE_FUZI(UD_CHK,PCU,TPR,TSP,BP);
    PRE_FUZZ(UD_CHK,PCU,TPR,TSP,BP);
    PRE_FUZ3(UD_CHK,PCU,TPR,TSP,BP);
    (* DEFUZZ4(PCU,TPR,TSP,BP); *)
    FLC77(UD_CHK,PCU,TPR,TSP,BP);
  WRITELN;
  WRITELN(OUTFILE3,'_____');
  WRITELN(OUTFILE3,'기포화상태|도로폭|경사도|속도|부위|중앙 |통과대수| 기존 | 퍼지|A 퍼지|PCU |OSP | ');
  WRITELN(OUTFILE3,'|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|');
  WRITE(OUTFILE3, S_COND);
  WRITE(OUTFILE3, R_WH:8:1);
  WRITE(OUTFILE3, RSLP:8:1);
  WRITE(OUTFILE3, PCU:7);
  WRITE(OUTFILE3, TPR:5);
  WRITE(OUTFILE3, TSP:7);
  WRITE(OUTFILE3, BP:6);
  WRITE(OUTFILE3, NON_FUZY:10:1);
  WRITE(OUTFILE3, OPT_CYL:7:1);
  WRITE(OUTFILE3, OPT_CYL2:7:1);
  WRITE(OUTFILE3, TOP:5:1);
  WRITE(OUTFILE3, TOS:5:1);
  WRITELN(OUTFILE3);
  WRITELN(OUTFILE3,'|_____');
  WRITELN(OUTFILE3);
  END;
  close(infile2);
  close(outfile2);
  close(outfile3);
END.

```

V. 모의실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 전처리로 신경망을 이용하여 루프 데이터를 통과한 차량파형을 학습시켜서 승용차환산계수를 판단한 후에, 후처리로 과포화일때의 앞막힘현상을 예방하기 위해서, 퍼지규칙 27개를 사용함으로써 출발손실시간을 최소화하였다. 전처리로 승용차환산계수를 산출한 후에, 상위교차로의 포화율의 상태를 후처리로 근포화, 과포화물 재확인함으로써 전처리에서의 승용차환산계수를 오 인식한 경우에도, 상위교차로의 포화율에 가장 적합한 최적의 신호주기를 퍼지규칙을 사용하여 산출할 수 있다. 뿐만아니라, 기존의 신호방식은 각 교차로마다 차선에서의 차량데이터를 주 신호기에 보내고, 주 신호기에서 offset 및, Split를 조정하기 때문에 능동적으로 신호주기를 실시간으로 제어할 수 없고, 간혹, 운영자가 잘못 판단할 경우에는 연동 (Coordination) 능력이 떨어지게 된다. 그러므로, 도로교통체증현상을 완화하기 위하여, 새로운 도로를 건설하지 않고 몇 배의 차량을 안전하고 신속하게 관리할 수 있는 Intelligent Vehicle Highway System (I.V.H.S.)의 연구가 진행되고 있으나, 이 방법은, 인공위성에서

g.p.s.도 정보를 수집하여 실시간 교통정보를 분산 처리하여야 하기때문에, 엄청난 소요예산이 든다. 그러나, 본 논문의 퍼지신호등은 소요예산도 적게들고 과 포화상태에서 발생하는 출발지연시간 및 평균대기시간도 줄일 수 있음을 모의실험을 통해서 확인했다.

참 고 문 헌

- [1] John T. Morgan and John D.C. Little, " Synchronizing Traffic Sig- nals For Maximal Bandwidth", Operation Research, 1964
- [2] John D.C. Little, "The Synchronizing Traffic signals by Mixed- Integer Linear Programming", Operation Research, 1965
- [3] 김경철, "지식기반체계 접근방법에 의한 교통신호 현시설계관련연구, 박사학위논문. 서울대학교 환경대학원 환경계획학과
- [4] 신성일, " 간선도로 연동화 모델에관한 비교연구, " 석사학위논문, 서울대학교, 환경대학원 환경계획학과, 1992
- [5] 한승준, 화상검지기에 의한 신호교차로 교통특성분석, 아주대학교 공학석사학위 논문, 1992.8
- [6] 이승환, "우리나라의 전자교통신호시스템 개선방향",한불산업정보, 제8권 2호, pp.3-7, 1990
- [7] C.P.Pappis, E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction",IEEE Trans. Syst.,Man,Cybern.,7(10), 707-717, 1977.
- [8] M.Jamshidi,R.Kelsey, K.Bisset,"Traffic Fuzzy Control: Software and Hardware Implementations",Proc. 5th IFSA, pp.907-910,Seoul,Korea, 1993.

