

# 신경망을 이용한 최적 교통신호주기 결정

## Determination of Optimal Traffic Signal Cycle using Neural Network

홍 유 식\*, 박 중 국\*\*

Yousik Hong\*, Chongkug Park\*\*

※본 논문은 상지대학교 자연과학연구소 연구조성비에 의해서 수행되었습니다.

### 요 약

전자감응식 교통신호시스템은 승용차환산계수를 고려하지않음으로서 과포화상태에서 출발지연시간및 승용차 대기시간을 유발하고 있다. 본 논문에서는 전처리로, 우선 신경망을 이용하여, 하위교차로의 승용차환산계수를 생성한다. 그러나, 간혹 차량의무게, 속도가 틀리기때문에 최적주기신호를 부 정확하게 산출할 수 있다. 그러므로, 후처리로 상위교차로의 포화상태비율에의한 Feed-Back된 데이터를 이용한 퍼지제어를 함으로서, 과포화시에 승용차대기시간및 출발지연시간을 감소시키는 연구이다. 뿐만아니라, 과포화상태에서 앞막힘현상을 예방제어하기 위해서 포화상태비율, 도로길이, 도로경사도, 도로폭등이 같지 않은 상위교차로에서도 앞막힘현상을 예방제어할 수 있도록하였다.

### ABSTRACT

Electro sensitive traffic system can not consider passenger car unit, so it causes start up delay time and passenger waiting time. In this paper, it antecedently creates passenger car unit at the bottom intersection using neural network. 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. 서 론

제한된 도로조건에서 나날이 증가되는 차량의 증가로 기존의 신호등은 과포화시에 출발지연시간을 유발함으로써, 최적의 주기신호를 생성하는 기능을

상실하였다. 그러므로, 최근에는 루프검지기, 초음파검지기, 영상이미지검지기<sup>1,2</sup> 등을 이용하여 교차로에 통과차량이 많을 때에는 신호주기를 연장하고, 통과차량이 적을 경우에는 신호주기를 단축하는 연구가 이루어지고 있다. 요즈음은 퍼지규칙을 이용하여 예상할 수 없는 불 확실한 교차로 유, 출입 차량흐름을 모델링하여 승용차대기시간을 최소화시키고 있으나, 이러한 논문들은 근포화시에 신호주기를 개선하는데

\*상지대학교 전산학과

\*\*경희대학교 전자공학과

주안점을 두었으므로, 과포화시에 앞막힘현상을 예방하기에는 다소 어려운실정이다.<sup>16-18)</sup>

기존의 루프디텍터는 통과차량의  $\Delta T$ (환산점유시간) 값을 이용하여 통과차량의 존재 유,무를 확인할 수 있으나, 통과차량속도, 통과차량무게, 통과차량부위를 매 현시마다 정확하게 예측할 수 없기때문에 통과차량종류(대형, 소형)등을 정확하게 산출하기가 어렵다. 특히, 상위교차로가 과포화상태일 경우에는, 하위교차로 차량 대기행렬길이에 적합한 신호주기를 생성하지 못함으로써, 다음 신호주기에 출발지연시간(Start-Up Delay Time) 및 승용차 대기시간을 유발시킨다. 그러므로, 퍼지규칙 및 신경망을 이용하여 승용차 대기시간을 줄이는 논문이 연구되고있다.<sup>18-19)</sup> 본 논문에서는 루프디텍터를 통과한 입력신호파형을 신경망을 이용하여 승용차환산계수를 생성한후에 교차로의 특성에맞는 최적의 옵션을 구함으로써 과포화예방제어 하고 대기시간을 줄이고, 평균 주행속도를 향상하는 연구이다.

## II. 대기행렬길이에따른 녹색시간산출

교차로에서 대기차량의 많고 적음을 판단하는 포화도는 유효녹색시간동안 최대로 유출할 수 있는 교통유율에대한 실제 통과된 교통량으로서, 보통 P.C.U.(Passenger Car Unit)로 표시된다. 그러므로, 교통류를 구성하는 대기차량은 차량의 길이가 항상 같은 값이 아니고, 매우 다양하여 각 차량별 승용차 환산계수(P.C.U.: Passenger Car Unit)을 어떤 값으로 결정해야 할지 어려움이 있으며, 시시각각으로 변화는 교통상황에 대응하여 승용차 환산계수로 정확히 환산하기가 어렵다. 또한 상위교차로가 과포화상태이고, 하위교차로의 유출하려는 차량이 많은 경우에는, 하위교차로의 대기행렬길이가 정확히 산출이 안되면, 다음현시에 진행연장시간을 유발시킨다. 루우프 디텍터를 이용한 신신호시스템(Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System) SCATS의 포화도는 차량의 길이에관계없이 앞차량의 뒷범퍼에서 후속차량의 앞범퍼까지의 시간간격은 일정하다는 전제하에, 각 차량간 포화교통류상의 비점유시간  $sp(sf)$ 에는 차이가 없다고 가정을 했으나, 대기행렬길이, 교차로길이에 따라서, 포화교통유율이 큰 차이를 보이게된다. 따라

서 포화상태에서의 비점유시간인  $sp(sf)$ 는 수시로 변화될 수 밖에 없다. 그러므로  $sp(sf)$ 도 교통상황에 대응하여 변화될 필요가 있으며, 이런 점에 입각하여 신신호시스템에서는 다음과 같이  $sp(sf)$ 를 변화시키고 있다. 먼저 각 접근로의 포화교통유율을 구하여, 이때의 비점유시간의 평균치를  $sp(sf)$ 로하여 변화시킨다. 포화교통유율은 정지선의 포화도 검지로부터 포화차두시간을 실측하여 산출하며, 여러주기의 각 차량의 차두시간을 고려하여 평균적으로 산출된다. 최대 대기차량의 길이를 정지선에서 마지막 차량이 정지해 있던 곳까지의 정지하는 차량의 댓수로 정의하고, 최대 대기차량의 길이를  $MAXQi$ 라 하면, 도작물에 의해서는

$$MAXQi = Qi - 1 + v \cdot (r + t) \quad (1)$$

여기서,

- $Qi - 1$ :  $(i - 1)$ 주기 종료시점에서의 대기차량길이
- $v$ : 도착율
- $r$ : 적색시간
- $t$ : 녹색시간이 경과된시간

출발과 속도에 의해서는

$$MAXQi = w \cdot t \quad (2)$$

여기서,

- $w$ : 포화교통율 ( $s$ )로 유출되면서 녹색시간으로인한 출발과
- $t$ : 녹색시간이 경과된시간

식(1)과 식(2)에서

$$t = (Qi - 1 + v \cdot r) / (w - v) \quad (3)$$

가 된다. 식(3)을 식(2)에 대입하면

$$MAXQi = Qi - 1 + v \cdot [r + (Qi - 1 + v \cdot r) / (w - v)] \quad (4)$$

여기서,

- $w$ : 포화교통율 ( $s$ )로 유출되면서 녹색시간으로인

한 출발과

v: 도착율

또는

$$MAXQ_i = w \cdot (Q_{i-1} + v \cdot r) / (w - v) \quad (5)$$

이 된다.

식(4)와 식(5)는 주기시작시점의 Overflow와 녹색 시간시작으로 인한 출발과 속도, 그리고 도착률과 포화시 유출 등을 모두 파악하고 있을때, 최대 대기차량길이를 추정할 수 있다. 그러나 신호제어시스템에서는 대기차량길이에 대한 정보는 과거 정보에 한정되어 다음주기의 대기차량길이는 추정하지 않으면 안되기 때문에, 실제 교통상황에서 얻어지는 최대 대기차량길이를 추정하는 모델을 설정하여 정확하게 평가해야 된다. 그러나, 이러한 알고리즘은 포화교통상태의 유출율 및 출발과속도가 일정하다는 가정하에서 매주기마다 변화되는 도착율 추정을 통한 최대 대기차량의 길이를 추정하기 때문에 정확한 녹색시간을 산출하기가 어렵다. 녹색신호주기에서, 측정된 최대 대기차량길이를  $MAXQ_{i-1}$ ,  $MAXQ_i$ 라 하면, 도착율  $V_i$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$Q_{i-1} = MAXQ_{i-1} + (g - t) \cdot v_i - s \cdot g \quad (6)$$

의 관계가 된다 여기서 대신에 식(2)에서의  $t = MAXQ_{i-1} / w$ 를 대입하면

$$Q_{i-1} = MAXQ_{i-1} + (g - \frac{MAXQ_{i-1}}{w}) \cdot v_i - s \cdot g \quad (7)$$

가 된다. 이를 다시 식(5)에 대입하면

$$MAXQ_i = w \cdot (MAXQ_{i-1} + g \cdot v_i - \frac{MAXQ_{i-1}}{w} - s \cdot g + v_i \cdot r) / (w - v_i) \quad (8)$$

이 되고, 정리하면

$$v_i = \frac{MAXQ_i - MAXQ_{i-1} + s \cdot g}{MAXQ_i - MAXQ_{i-1} / w + C} \quad (9)$$

이 된다.

여기서,

w: 포화교통을 (s)로 유출되면서 녹색시간으로 인한 출발과

s: 포화상태의 유출율

C: 교통신호 주기

$MAXQ_{i-1}$ : (i-1)주기의 측정된 대기행렬길이

$MAXQ_i$ : I주기의 측정된 대기행렬길이

$V_i$ : 도착율

매주기의 최대 대기차량길이가 측정되어지면 해당 주기에서는 도착율이 구해진다. 그러나, 요즈음과 같이 예측할 수 없는 교통변동으로 인해 매주기마다 정확하게 도착율을 추정한다는 것은 매우 어렵다. 그러므로, 과거의 도착율을 평활(Smoothing)하여 차기주기의 도착율로 산정한다. 즉 과거 3 주기 동안의 도착율의 이동평균값(Moving Average)을 차기 주기의 도착율로 하는 예측방법을 이용한다. 따라서 차기주기에서의 예측되는 도착율,  $FV_{i+1}$ 은

$$FV_{i+1} = \frac{V_{i-2} + V_{i-1} + V_i}{3} \quad (10)$$

로 하여 차기 주기에서의 최대 대기차량길이는 식(8)에서

$$Est(MAXQ_{i+1}) = w \cdot (MAXQ_{i+g} \cdot FV_{i+1} - FV_{i+1} \cdot MAXQ_i / w - s \cdot g + FV_{i+1} \cdot r) / (w - FV_{i+1}) \quad (11)$$

식 (11)은 포화상태에서의 유출율과 녹색시간시작으로 인한 출발과속도가 매 주기마다 일정하다고 할 때, 주기 및 녹색시간이 매 주기마다 변화되는 실시간 교통제어시스템에서 upset결정을위해 최대주기길이의 예측이 가능하다. 그림 1에서 보는것과같이, 교차로에서의 대기행렬이 소형차량으로 구성되었을 경우에는 대형차량으로 구성된경우보다, 녹색주기시간이 25% 가량 연장된 것을 알 수 있다. 즉, 통과차량의 평균속도가 20km이고, 차선평이 3.5m일때 소형차량이 상위교차로에서 하위교차로에 직진시에 진입하는데 소요시간이 3초라고 가정하면, 대형차량은 3.5초 소요된다고 간주할 수 있다. 뿐만아니라, 교차로를 통과하는데 걸리는 시간이 좌회전 출발소요시간이 직진차량보다 1.3초 정도길며, 버스나 트럭은 승용차의 1.5배 값을갖는다.

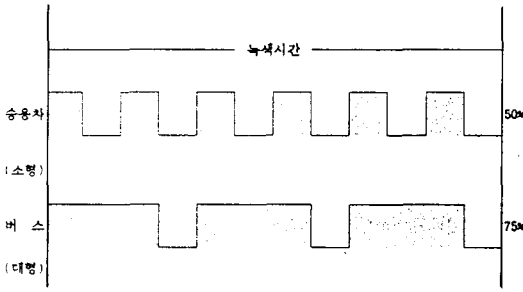


그림 1. 승용차환산계수에 따른 녹색주기시간  
Fig. 1 Green cycle time depending on passenger car unit

그러나, 도로조건이 표 1~표 2와 같이 차선평 및 도로경사도가 틀리므로, 미국 Highway Capacity Manual에서 정한 보정계수를 이용하여, 녹색시간을 산출하여야한다.

표 1. 차선평 보정계수 (FW)

차선평 (M)	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5
	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.03	1.07	1.10

표 2. 신호 교차로의 경사에대한 보정계수

경사(%)	내리막			평탄	오르막		
	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6
	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97

과포화상태에서 앞막힘현상을 예방하기 위해서는 대기차량의 길이를 정확하게 예측하여 상위교차로의 최적 용량보다, 하위교차로 통과누적차량이 한 현시에 진입가능한 상위교차로의 최적 대기행렬길이가 적을때까지만 현시신호주기를 발생하도록 해야한다. 그러나, 기존의 어떠한 식도, 포화상태에서의 유출율과, 통과차량의 속도, 도착율등을 정확하게 파악할 수 있을때에만 최대 대기행렬길이를 추정하여 녹색시간을 산정할 수 있기때문에, 과포화 상태일때의 앞막힘현상을 예방하기에는 어려움이 따른다.

### Ⅲ. 승용차환산계수를 고려한 최적오프셋 산출

신호등이 설치되어 있는 상위교차로와 하위교차로의 두 도로에서 차량이 효율적으로 주행하기 위해서

는 녹색신호의 연계성이 매우 중요하다. 하류교차로의 녹색신호가 켜져있는데도 상류교차로의 적색신호 때문에 정지해 있거나 또는 상류교차로에서 녹색신호를 받고 출발한 차량이 하류교차로에 도착했을때 하류교차로의 신호가 적색으로 바뀐다면 최적 신호주기산출이 상당히 비효율적이게 된다. 일반적으로 이상적인 Offset은 상위 교차로를 출발한 차량이 하위교차로로 진행하는 차량군의 선두가 도착 할때 녹색신호가 점등하도록 Offset을 설정하는 것이다. 대기행렬이 없는 경우의 Offset 산출식과 대기행렬이 존재하는 상태하에서의 이상적인 Offset은 다음 식(12)와 같이 산출된다.

$$T1 = l/v \tag{12}$$

$$T2 = l/v - (Q \cdot h + L) \tag{13}$$

여기서,

T1: 이상적인 Offset(sec)

T2: 대기행렬이 존재하는 상태하에서의 이상적인 Offset

l: 링크길이(m, 링크길이)

v: 차량속도(m/sec)

Q: 차선평 대기차량의 수

h: 대기-차량의 출발시간소요시간(sec/veh)

L: 손실시간

표 3.3 가지 교통포화율

Table 3.3 Types of traffic saturation rates

미포화	근포화		과포화
	안정상태	불안정상태	
상위교차로, 하위교차로에 대기행렬의 형성이안된 상태	상위교차로에 대기행렬이 형성안되었고, 하위교차로에 대기행렬이 줄어들거나 포화도를 0.5를 유지	상위교차로에 대기행렬이 형성안되었고 하위교차로에 대기행렬이 계속 커짐	상위교차로에 대기행렬이 생 성이 되고 하위 교차로에 포화도가 1에 가까워지고 출발지연시간 발생

위와 같이 패턴중에서 주기를 결정하는 방법의 문제점은, 과포화된 교차로에서 교통량과 점유율만을 가지고 신호를 제어하는데에는 교통상황 파악이 외곡 될 수 있다. 현재 서울시 신호제어는 대부분 T.O. D.MODE로 운영하고 있다. 이것은 교통상황에 즉시

표 4. 기존신호 교통대응모드

Table 4. Conventional traffic response mode

LEVEL	CYCLE	ROAD A		ROAD B		ROAD C	
		SPLIT	OFFSET	SPLIT	OFFSET	SPLIT	OFFSET
1	C1	S1	O1	S1	O1	S1	O1
2	C2	S2	O2	S3	O3	S4	O4
3	C3	S5	O5	S6	O6	S7	O7
6	C6	S14	O14	S15	O15	S16	O16

대응하는 실 시간처리가 아니고 운영자가 사전에 각 교차로의 신호 시간 계획을 미리 입력해 두고 해당 시간대에 입력된 값에 의해서 최적주기를 산출하는 방식이다. 따라서, 요즈음과 같이 교통흐름을 예측 할 수 없을 때에는 최적주기 산출이 어렵다. 특히 하위 교차로가 포화상태가 됐을 경우에는 상위교차로의 대기차량이 많을경우에도 신호주기를 단축시켜주어야 한다. 표 3에서 보는바와같이, 하위교차로의 통과 차량이 많더라도, 만약, 상위교차로가 과포화상태이면, 상위교차로의 허용포화상태에맞는 신호주기를 생성 하여야 과포화및, 다음 현시의 출발지연시간을 단축 할 수 있다. 그러므로, 표 4에서와같이, 기존방법으로 실 시간제어를 하는 대응 Mode는 수집된 교통량과 포화도만을 가지고 운영자가 신호주기의 LEVEL중에서 하나를 선택하여 신호주기, SPLIT, OFFSET을 결정하기때문에, 운영자가 사전에 제어변수(교통량과 점유율)에 따라 선택될 수 있도록 SPLIT OFFSET의 선택 LEVEL을 정확하게 지정해주어야하며, 과포화일때에는 LEVEL 6개를 선택할 때 가장 중요한 데이터인 교차로의 포화율및, 통과차량의속도, 대기행렬길이가 정확하게 산출되지 않았기때문에, 교통량과 점유율에 의한 미리입력된 신호주기와 틀린값을 갖을경우에는 OFFSET, SPLIT가 왜곡될 수 있다.

그림 2a에서와같이, 상위교차로가 근포화이고 하위교차로가 대기행렬차량이 소형 3대 중형 1대로 구성됐을 경우에는 상위교차로 예상대기행렬길이가 하위교차로 대기행렬길이보다 크므로, 다음 현시에 진행연장시간 및 승용차대기시간이 발생하지않는다.

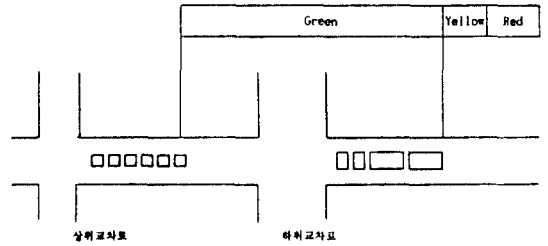


그림 2b. 대기행렬길이에따른 녹색시간 2.  
Fig. 2b Green time depending on waiting queue 2.

그림 2b에서, 상위교차로가 근포화이고 하위교차로가 대기행렬차량이 소형 2대 대형 2대로 구성됐을 경우에는 상위교차로 예상대기행렬길이가 하위교차로 대기행렬길이보다 적으므로, 다음현시에 진행연장시간및, 승용차대기시간이 발생한다.

식(14)에서 보는것과같이, 과포화시에 상위교차로의 Optimal Capacity(최적용량)보다, 하위교차로의 예상대기행렬길이가 같거나, 적을경우에는, 앞막힘현상을 유발시키지 않으나, 하위교차로의 예상대기행렬의 길이가 상위교차로의 최적 용량보다 클경우에는 다음현시에, 앞막힘현상 및 승용차 대기시간을 유발시켜, 교통체증의 원인이된다. 그러므로, 과포화에서 발생하는 앞막힘현상을 완화하기위해서, 본 논문에서는 차량신호일력과정 6개를 신경망을 이용하여 학습시켜서, 승용차환산계수를 판단하였다.

$$Optimal Capacity \geq Upcap - \sum_{n=1}^{n=10} (Qni + Acni) \quad (14)$$

여기서,

- Optimal Capacity = 상위교차로 최적 용량(Meter)
- Upcap = 하위교차로 통과누적차량, 한 현시에 진행 가능한 상위교차로의 최적 대기행렬길이 (Meter)
- Qni = 하위교차로 통과차량 대기행렬길이(Meter)
- Acni = 하위교차로 누적 차량 대기행렬길이(Meter)

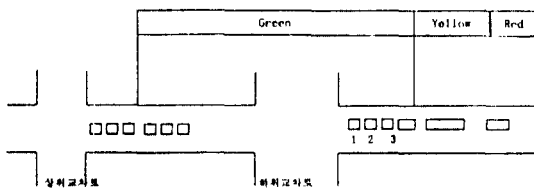


그림 2a. 대기행렬길이에따른 녹색시간 1.  
Fig. 2a Green time depending on waiting queue 1.

표 5. 유입차량 승용차 환산계수

Table 5. P.C.U. for coming vehicle

Phase	Car	1	2	3	4	5
1 현시		1.3	1.2	1.2	1.5	1.3
2 현시		1.2	1.4	1.6	1.2	1.3
3 현시		1.2	1.2	1.9	1.4	1.7
4 현시		1.6	1.8	1.9	1.2	1.9

표 6. 유입차량 대기행렬길이

Table 6. Wating queue length for coming vehicle

From	To	1	2	3	4	5
1 현시		6.5	5.6	5.6	8.7	6.3
2 현시		5.6	6.8	9.6	5.6	6.3
3 현시		5.6	5.6	14.3	6.8	10.5
4 현시		9.6	12.8	14.6	5.6	14.8

교차로에서 한 현시에 5대의 대기차량이 걸치되었을 경우, 똑같은 5대이지만, 표 3과 같이 승용차환산계수가 틀리고, 표 4와같이 대기차량의 길이가 갖지 않음을 알 수 있다. 그러므로 표 5에서 보는것과 같이, 상위교차로가 과포화일때에는 승용차환산계수에 의한 대기행렬길이를 고려하지 않으면, 다음 현시에 진행연장시간 및 앞막힘현상을 발생시킨다.

#### IV. 모의실험및 결과

본 논문에 사용된 신경망 구조 및 학습알고리즘은 다음과 같다.

입력층과 출력층만으로구성된, back propagation 기 능이없는 단층신경망을 사용하였으며, 입력층 Neuron

(신경세포)는 0번부터 25개이고, 출력층 Neuron(신경 세포)는 25번부터 10개이다. Network(망)의 신경세포는 0번부터 35개이다. Network(망)의 연결은 0번 부터 250개(25\*10), Network(망)의 층은 0번부터 2개이고, Network(망)의 학습규칙은 델타규칙을 사용하였다. 학습반복횟수의 초기값은 0이며, 망의 연결가중치의 최소값은 -1이고, 망의 연결 가중치의 최대값은 1로 설정하였다.

- 1) offsets, weight를 초기화한다.
- 2) input, target의 신호파형을 신경망에 제시한다.
- 3) 입력신호파형 data 0는 교사신호인 목적패턴인 1000000000에 해당  
입력신호파형 data 1은 교사신호인 목적패턴인 0100000000에 해당  
입력신호파형 data 2는 교사신호인 목적패턴인 0010000000에 해당  
:  
:  
입력신호파형 data 9는 교사신호인 목적패턴인 0000000001에 해당하는 교사신호를 학습시킨다.
- 4) 각 유니트에 대한 연결가중치와 활성값을 구한다.

$$errorp = \sqrt{(O_{po} - t_{po})^2 + (O_{p1} - t_{p1})^2 + (O_{p2} - t_{p2})^2 + \dots + (O_{pn} - t_{pn})^2} \quad (15)$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (O_{pij} - t_{pij})^2} \quad (16)$$

$$ERROR = \sum_p errorp \quad (17)$$

표 7. 통과차량에의한 예상 승용차환산계수및 예상 대기행렬길이

Table 7. Passing vehicle of expecting P.C.U. and expecting wating queue length

상위 교차로 포화도	하위교차로 통과 차량					예상 승용차 환산 계수					예상 대기 행렬 길이					총 대기행렬 길이
SAT. RATE	T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	P3	P4	P5	W1	W2	W3	W4	W5	$\sum_{i=1}^5 W*(i)$
과 포 화	1	1	0	1	1	1.3	1.2	1.2	1.5	1.3	6.5	5.6	5.6	8.7	6.3	32.7 M
근 포 화	1	1	0	1	1	1.2	1.4	1.6	1.2	1.3	5.6	6.8	9.6	5.6	6.3	33.9 M
근 포 화	1	1	1	1	1	1.2	1.2	1.9	1.4	1.7	5.6	5.6	14.3	6.8	10.5	42.8 M
근 포 화	1	1	0	0	1	1.6	1.8	1.9	1.2	1.9	9.6	12.8	14.6	5.6	14.8	57.4 M

errorp = 입력패턴 p에 대한 신경망의 에러  
 Opo = 입력패턴 p에 대한 출력층의 j번째 신경세포의 실제출력  
 tpo = 목적패턴 p의 j번째 성분  
 ERROR = 모든패턴에 대한 신경망의 에러

5) 학습한 결과 학습데이터 6개의 패턴을 300회 학습시켰을때 ERROR는 0.3451231이었으며 test data 6개를 97% 이상 식별하였다.

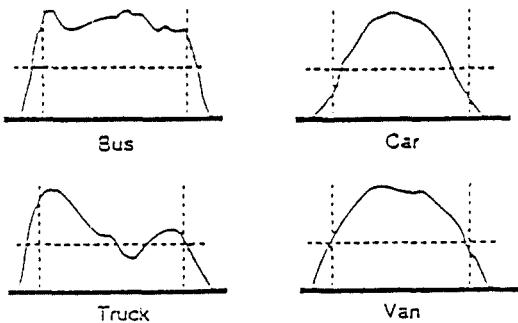


그림 3. 루프검지기 통과차량 아나로그파형  
 Fig. 3 Passing vehicle analog signature of loop detector

0 1 1 1 1 1 1 0	0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 1 0 0 0 0 1
0 1 0 0 0 0 1 0	0 0 0 1 0 0 0 1	0 1 0 1 0 0 0 1
0 1 0 0 0 0 1 0	0 1 1 0 1 0 1 1	0 1 0 0 1 0 1 1
1 0 0 0 0 0 1 0	0 1 0 0 0 1 1 1	0 1 0 0 0 1 0 1
1 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0 0 0 1 0 1	1 0 0 0 0 1 0 1
대형 버스	소형 트럭	대형 트럭

그림 4. 6 종류 차량입력데이터  
 Fig. 4 6 Types of vehicle input data

본 논문에서는 그림 3의 루프검지기를 통과한 파형에 근거하여, 그림 4의 차량입력 데이터를 작성하였다. 학습한 결과 학습데이터 6개의 패턴을 300회 학습시켰을때 test data 6개를 97% 이상 식별하여 통과차량의 승용차환산계수를 정확하게 산출하였다. 그러나, 이러한 학습결과는 차량속도가 20km로 일정하고, loop detector를 100% 통과했다는 가정하에서 이루어진 것이기 때문에 실제 교통상황처럼 통과차량이 loop detector를 통과하는 부위가 중앙을 통과할 때, 1/4, 1/2의 3 가지 경우가 있으며, 통과 차량속도가

10km미만, 30km이상으로, loop detector를 통과한 차량파형을 정확하게 판단하기에 어려움이 따른다. 그러므로, 그림 5에서 보는것과같이, 신경망을 이용해서 전처리로 승용차환산계수를 산출한후에 후처리로 승용차환산계수, 상위교차로의 포화상태, 하위교차로 통과차량수를 퍼지입력변수에 근거한, 퍼지규칙 27개를 사용하여 퍼지 출력조건으로 예상 진행차량속도와 예상교통신호주기를 구하여, 전처리에서 승용차환산계수가 정확하게 산정이 안될경우에도, 퍼지규칙을 사용하여, 과포화에서 승용차환산계수에 의한 대기행렬길이에 의한 최적의신호주기를 산출함으로써 표 4의 기존신호 교통대응모드처럼 LEVEL 6개를 선택할 때 가장 중요한 데이터인 교차로의 포화율 및 통과차량의속도, 대기행렬길이가 정확하게 산출되지 않았기때문에, 교통량과 점유율에 의한 미리입력된 신호주기와 틀린값을 갖을경우에는 OFFSET, SPLIT가 왜곡될 수 있다.

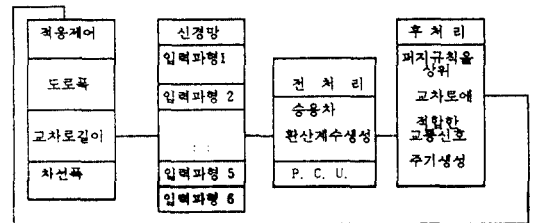


그림 5. 퍼지신경망을 이용한 최적주기신호 블럭 다이어그램  
 Fig. 5 Block diagram of optimal traffic cycle light using fuzzy neural network

그림 5에서, 사용한 후처리 퍼지규칙을 이용한 교통신호주기생성은, 감용 루프식 감지기를 이용하여 통과차량수를 감지하였다고 가정하고, 상위교차로가 과포화인 경우와 상위교차로가 근포화인 경우의 예상 진행차량속도 예상교통신호주기를 구하였다. 제어출력의 결정 진행과정은 다음과 같다.

상위교차로가 과포화인경우,

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 HIGH then OS is SMALL

Optimal traffic cycle = Expecting car speed(High)\*  
 Number of cars +보상계수

상위교차로(UST)가 HIGH(과포화)이고, 하위교차로(BST) 통과차량수가 HIGH(많음), 승용차환산계수(PCU)가 HIGH(대형)일때에는, OS(차량당 예상통과시간)은 HIGH(3.8초)

상위교차로(UST)가 HIGH(과포화)이고, 하위교차로(BST) 통과차량수가 HIGH(많음), 승용차환산계수(PCU)가 SMALL(소형)일때에는, OS(차량당 예상통과시간)은 SMALL(3.0초)

하위교차로가 미포화인경우,

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 SMALL

Optimal traffic cycle = Expecting car speed(High)\*  
 Number of cars\* Traffic signal +보상계수

상위교차로(UST)가 SMALL(근포화)이고, 하위교차로(BST) 통과차량수가 HIGH(많음), 승용차환산계수(PCU)가 HIGH(대형)일때에는, OS(차량당 예상통과시간)은 MEDIUM(3.5초)

상위교차로(UST)가 HIGH(과포화)이고, 하위교차로(BST) 통과차량수가 HIGH(많음), 승용차환산계수(PCU)가 SMALL(소형)일때에는, OS(차량당 예상통과시간)은 SMALL(3.0초)

여기서,

- PCU는 승용차환산계수
- UST는 상위교차로 포화도
- BST은 하위교차로 통과차량수
- OSH는 예상 진행차량속도

표 8. 뉴럴퍼지신호등 예상차량속도규칙

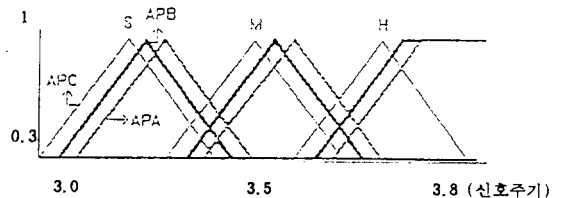
Table 8. Expecting car speed rule of neural fuzzy traffic light

PCU SATURATION		PCUH	PCUM	PCUSL
USTH	BSTH	B	B	S
	BSTN	B	M	M
	BSTS	B	B	M
USTM	BSTH	B	B	M
	BSTM	M	M	M
	BSTS	M	S	M
USTS	BSTH	M	M	S
	BSTM	M	S	S
	BSTS	M	S	S

USTH:상위교차로 포화도 고 BSTH:하위교차로 통과차량 고  
 PCUH:승용차환산계수 고  
 USTM:상위교차로 포화도 중 BSTM:하위교차로 통과차량 중  
 PCUM:승용차환산계수 중  
 USTS:상위교차로 포화도 하 BSTS:하위교차로 통과차량 하  
 PCUL:승용차환산계수 하

표 6에서 보는것과같이, 상위교차로(USTH)가 HIGH(과포화)이고, 하위교차로(BSTH) 통과차량수가 HIGH(많음) PCUH:승용차환산계수 HIGH(대형):경우에는 통과차량 한 대당 소요되는 예상소요시간이 B:BIG(고)이므로 차량 한 대가 하위교차로에서 상위교차로로 진입하는 예상소요시간은 3.8초가 된다.

상위교차로(UST)가 HIGH(과포화)이고, 하위교차로(BST) 통과차량수가 HIGH(많음), 승용차환산계수(PCU)가 SMALL(소형)경우에는, OS(차량당 예상통과시간)은 SMALL 차량 한 대가 하위교차로에서 상위교차로로 진입하는 예상소요시간은 3.0초가 된다.



- APA:교차로길이가 큼 (51 Meter 이상)
- APB:교차로길이가 중간 (31 - 50 Meter)
- APC:교차로길이가 작음 (10 - 30 Meter)

그림 6. 도로조건을 고려한 예상신호주기멤버쉽함수  
 Fig. 6 Expected traffic cycle membership function by considering road condition



표 9. 승용차환산계수를고려한 퍼지신호등과 기존 신호등 대기시간비교

Table 9. Comparisons between fuzzy traffic light wating time by considering p.c.u. and conventional traffic light

차량종류		속도		기존방식(초)				비고	퍼지 방식				비고	
직진		회전		직진		회전		대기시간	직진		회전		대기시간	
대	소	대	소	대	소	대	소		대	소	대	소		
1	2	0	2	11	4.0	8.0	0.0	8.0	10.0	3.5	6.4	0	6.9	3.2
1	4	2	2	30	4.0	16.0	8.0	8.0	6.0	3.2	11.6	6.8	6.2	7.8
2	2	1	2	27	8.0	8.0	4.0	8.0	2.0	6.4	5.8	3.3	6.2	1.7
2	0	1	2	12	8.0	0.0	4.0	8.0	10.0	6.9	0.0	3.7	6.9	2.5
2	0	3	1	20	4.0	4.0	12.0	4.0	6.0	6.6	0.0	10.5	3.2	0.3
3	1	2	3	10	12.0	4.0	8.0	12.0	6.0	11.1	3.3	7.4	9.9	11.7
3	2	0	2	15	12.0	8.0	0.0	8.0	2.0	10.8	6.2	0.0	6.6	3.6
2	1	1	2	20	8.0	4.0	4.0	8.0	6.0	6.6	3.0	3.5	6.4	0.5
3	2	2	0	30	12.0	8.0	8.0	0.0	2.0	9.3	5.8	6.8	0.0	1.9

(가정)

1. 교차로길이 ... 100 METER
2. LOOP 디렉터 통과면적 100%
3. 차량무게 동일

대형 차량에 대한 조건 - 기존 4.0초, 퍼지: 회전시 3.5초, 직진시 3.3초  
 소형 차량에 대한 조건 - 기존 4.0초, 퍼지: 회전시 3, 2초, 직진시 3.0초  
 T.O.D: 기존 신호등 고정 주기: 30초  
 통과속도(20KM), 차량 1대 통과 시간: 3초(소형), 대형(3.3초)  
 WALK: 횡단보도횡단시간(퍼지신호등) 20초 가정

표 10. 포화상태에 따른 퍼지방식과 기존방식 신호주기비교

Table 10. Comparisons between fuzzy traffic light depending on saturation rate and convential traffic light

포화상태 %	속도 km/sec	차량의 크기			기존방식		퍼지방식	
		대	중	소	T.O.D.	대기시간	WALK	대기시간
88	13	3	1	1	30	10초	20	3초
74	12	1	2	1	30	14초	20	0초
82	15	1	0	4	30	10초	20	0초
68	08	2	2	3	30	2초	20	6초
51	30	1	1	4	30	6초	20	1초
34	32	3	2	5	30	10초	20	15초
43	35	1	2	2	30	10초	20	3초
32	37	1	1	1	30	18초	20	0초

표 11. 도로폭에 따른 퍼지방식과 기존방식 신호주기비교

Table 11. Comparisons between fuzzy traffic light depending on road width and convential traffic light

도로폭 m	차량크기		속도 km/sec	기존		T.O.D. (30초) 대기시간	퍼지		WALK 대기시간
	대	소		대	소		대	소	
15	3	3	35	12초	9초	9.0초	11.5	9.1	1.6초
30	2	3	33	08초	9초	13.0초	7.5	9.8	0초
40	4	2	38	16초	6초	8.0초	17.2	8.1	5.3초
50	2	3	21	08초	9초	13.0초	8.4	13.8	2.2초
65	3	6	42	12초	18초	0.0초	11.5	18.9	10.4초
70	4	5	43	16초	15초	1.0초	16.2	16.5	4초
100	2	4	21	08초	12초	10.0초	8.3	14.3	2.6초
120	1	7	32	04초	21초	15.0초	3.8	26.1	9.9초

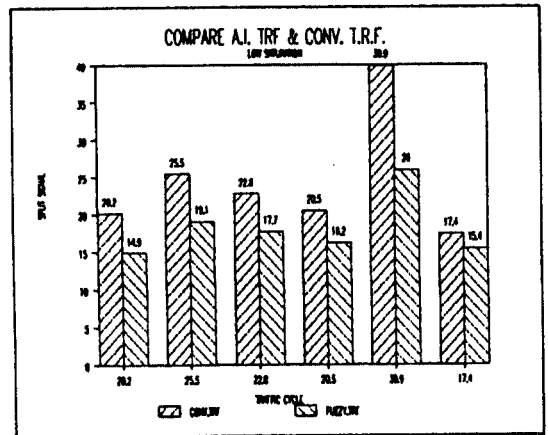


그림 7. 미과포화일때의 기존신호등과 퍼지신호등 대기시간 비교

Fig. 7 Comparisons between low saturation of conventional traffic light and fuzzy traffic light wating time

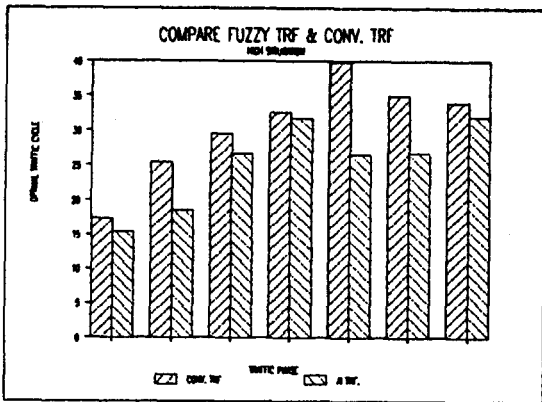


그림 8. 과포화일때의 기존신호등과 퍼지신호등 대기시간 비교

Fig. 8 Comparisons between conventional traffic light and fuzzy traffic light wating time of high saturation

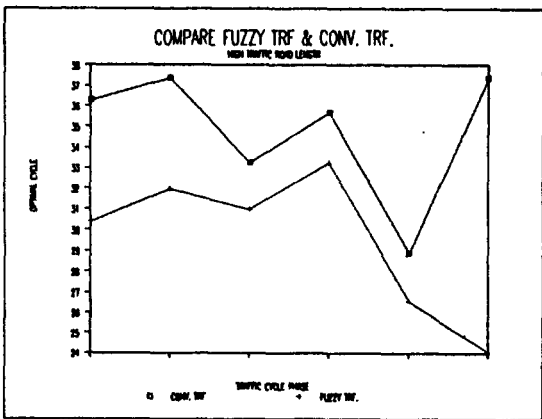


그림 9. 기존신호등과 교차로길이를 고려한 퍼지신호등 대기시간비교

Fig. 9 Comparison between fuzzy traffic light wating time by considering p.c.u. and conventional traffic light

### V. 결 론

기존의 신호등은 과포화시에 하위교차로의 대기차량이 한 현시 신호주기 내에 상위교차로 진입을 못해서 발생하는 앞막힘 현상(Spillback)때문에 출발지연시간 및 승용차대기시간을 유발시킴으로서 교통체증

을 가중시킨다. 본 논문에서는 루프디텍터를 통과한 하위교차로의 예상대기차량의 신호입력파형을 신경망을 이용해서 학습시킨후, 하위교차로의 승용차환산계수를 고려한 대기행렬길이에 적합한 신호주기를 생성한다.

뿐만아니라, 퍼지규칙을 이용한 예상차량속도에 근거한 신호주기를 생성함으로써, 상위교차로가 과포화상태이고, 하위교차로에 대기차량이 대형으로 구성되어 있을 경우에도, 기존의 신호 등에 비해서 10% 정도 승용차대기시간 및 출발지연시간을 줄일 수 있음을 모의실험을 통해서 확인했다. 일반적으로, 기존의 신호등에서 발생하는 대기시간은 3 가지로 분류된다. 첫째로, 상위교차로에 교통율이 높은데에도, 하위교차로에서 누적차량이 많다고해서 고정된 신호주기를 계속 반복하는경우이다. 이러한 경우에는 남북도로(현시:Phase)에서 포화율을 초과해서 진행한 차량으로 한 신호주기에 모두 통과를 하지 못함으로써, 황색시간에 추가로 진행되는 End-Lag Time(진행연장시간)을 유발시키고 다음현시 동서도로(Phase+1)에서 바뀐 신호를 보고 출발한 차량으로 인한 정체를 유발시킬 뿐만아니라, 교통사고의 위험이따르며, 다음 현시에서, 각 방향의 진행차량으로 인해서 Startup-Delay Time(출발지연시간)을 유발시킴으로 발생하는 시간손실을 초래한다. 뿐만아니라, 다음 현시에, 소거지연시간(Clearance Lost Time)을 유발함으로써 누적차량의 대기시간은 소거지연시간 만큼 증가한다. 두번째로, 기존신호등의 남북도로 주기신호가 시작된 후에, 하위교차로에 통과차량이 적음에도 불구하고, 계속 상위교차로의 현시가 진행됨으로서, 승용차대기시간을 발생시킨다. 이러한 경우에는 하위교차로의 통과차량이 거의 없으므로, 신호주기를 다음현시로 바꾸어주어야 한다. 셋째는, 기존 신호등의 남북도로 주기신호가 끝나고 난 후에도 여전히 상위교차로 포화교통율이 낮고, 하위교차로에 누적차량이 많을경우에, 하위교차로를 출발한 통과차량이 상위교차로에 진입하기도전에, 상위교차로의 현시 신호주기가 끝나고, 바로 다음현시(동서도로)로 교통신호가 바뀌는 경우이다. 이러한경우에는 다음현시로 신호를 바꾸어주는것이아니라, 하위교차로의 통과차량이 상위교차로에 연동해서 진행할수 있도록 현시의 신호주기를 연장하여주어야한다. 본 논문에서는 이와같은

문제점을 해결하기 위해서, 차량신호 입력데이터 6개를 신경망으로 학습시켜서, 승용차환산계수에 의한 대기행렬길이를 산출한다음에, 앞에서 밝힌 3 가지 문제점을 퍼지규칙을 이용하여 승용차대기시간 및 앞막힘현상을 제거하기 위한, 연동의개념을 도입한 최적의 신호주기를 산출하였다. 모의실험결과, 미포화나, 근포화시에는 기존의 신호등과 퍼지뉴럴신호등의 승용차대기시간은 큰 차이가 없었고, 상위교차로가 과포화일 때, 앞막힘현상을 8-15% 가량 줄일수있었다.

### 참 고 문 헌

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 교통특성 분석, 아주대학교 공학석사학위 논문, 1992. 8
4. 이승환, "우리나라의 전자교통신호시스템 개선방향", 한불산업정보, 제8권 2호, 1990, PP. 3-7
5. 이현재, "1, 2, 3차년 용역결과를 중심으로한 신신호시스템 효율성 평가와 향후대책" 경찰청, 1994, 1, 25
6. C.P.Pappis, E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction", IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 7(10), 707-717, 1977.
7. M. Jamshidi, R. Kelsey, K. Bisset, "Traffic Fuzzy Control: Software and Hardware Implementations", Proc. 5th IFSA, pp. 907-910, Seoul, Korea, 1993.
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. L.A. ZADEH, "Fuzzy Set", Information Control, Vol.8, PP. 338-353, 1965.
10. Mohammad Jamshidi, "Fuzzy Logic and Control Software and Hardware Applications", Prentice Hall Inc, PP. 262-278, 1993.
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. Bart Kosko, "Neural Networks and Fuzzy Systems", Prentice-Hall International Inc, PP. 308-336, 1992.
14. Hanshin Expressway Public Corpoation, Traffic Control System For Safe and Comfortable Driving, 1984.
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.
16. 홍유식 "퍼지제어를 이용한 인공지능신호등의연구" 한국 정보과학회 인공지능소식, 제8권 1호, pp. 48-66, 1993.
17. 이영노, 김태환, 서일홍, "록업테이블을 이용한 자동학습 퍼지제어기의 설계에관한연구", 전자공학회논문지 제29권 B편 제 9호, pp. 723-734, 1992.
18. 진현수, "퍼지이론을 이용한 도시 교통신호등의 제어에관한 연구", 시립대학교 부설 수도권 개발연구소 연구 논문 제 17집, pp. 97-103, 1991.
19. 이광형, 오길록, "퍼지이론및 응용 1", 홍릉과학사, 1991.
20. Everett C. Carter and W.S. Homburger, "Introduction to Transportation Engineering", 1978.
21. Transportation and Traffic Engineering Handbok, 1992.
22. Donald R. Drew, "Traffic Flow Theory and Control", Mcgraw-Hill CO. 1968.
23. 자동차연구회, "자동차공학", 중원사, 1987.



홍 유 식(Yousik Hong) 정회원

1959년 6월 21일생

1983년 2월:경희대학교 전자공학과(공학사)

1989년 8월:뉴욕공과대학교 전산학과(공학석사)

1992년 3월~현재:경희대학교 전자공학과 박사과정

1991년 3월~현재:상지대학교 전산학과 조교수

※관심분야: 퍼지제어, 신경망, 교통신호주기결정



박 종 국(ChongKug Park) 정회원

1945년 2월 7일생

1971년 2월:서울대학교 물리학과(이학사)

1975년 2월:연세대학교 전자공학과(공학석사)

1979년 8월:연세대학교 전기공학과(공학박사)

1987년 9월~1988년 8월:미국 오레곤 주립대학교 전기공학과 교환교수

1980년 3월~현재:경희대학교 전자공학과 교수

※관심분야:로보틱스, 퍼지제어, 공장자동화