

# 실시간 교통상황 예보

## Forecasting of Real Time Traffic Situation

상지대학교 전자계산공학과    안산 공업대학교 전기과    원주대학교 행정전산과    경희대학교 전자공학과  
홍 유식                            진 현수                            최 명복                            박 종국  
yshong@chiak.sangji.ac.kr    hsjin@intra.ansantc.ac.kr    cmb@web.wonju.ac.kr    chpark@nms.kyunghee.ac.kr

### 요약

본 논문은 10개 교차로를 연동제어를 할 수 있는 새로운 교통체제 개념을 제안한다. 예를 들어서 오늘 야구경기가 8시경에 열린다고하면 야구경기가 열리기전 1시간 혹은 1시간 30분전에 교통량이 증가할 것이다. 이럴때에는 아무리 우수한 전자 신호등 시스템도 최적녹색시간을 예측할 수 없다.

그러므로, 본 논문에서는 평균 승용차 대기시간을 최소화하고 평균 주행속도를 향상 하기위해서 퍼지규칙 및 신경망을 이용한다. 모의실험결과 제안된 연동 녹색시간이 연동 녹색시간을 고려하지 않은 전자신호등보다 평균 승용차 대기시간을 줄일 수 있음을 입증했다.

### Abstract

This paper proposes a new concept of coordinating green time which controls 10 traffic intersection systems. For instance, if we have a baseball game at 8 pm today, traffic volume toward the baseball game at 8 pm today, traffic volume toward the baseball game will be increased 1 hour or 1 hour and 30 minutes before the baseball game. At that time we can not predict optimal green time Even though there have smart electro-sensitive traffic light system. Therefore, in this paper to improve average vehicle speed and reduce average vehicle waiting time, we created optimal green time using fuzzy rules and neural network.

Computer simulation results proved reducing average vehicle waiting time which proposed coordinating green time better than electro-sensitive traffic light system doesn't consider coordinating green time.

### I. 서론

만약, 요즈음과 같이 예측할 수 없는 갑작스러운, 교통량의 증가나 감소시에 발생하는 승용차 대기시간을 20 - 30%만 개선 시켜도 연간 10조원 이상의 교통 혼잡비율을 개선시킬 수 있다. 만약, 잠실 경기장에서 야구경기가 오후 7시에 열린다고 가정하면 오후 6시 에서 오후 8 시경 명동과 잠실 경기장의 인근교차로 10 개는, 급변하는 교통량의 변화에따라서 녹색시간주기를 연장하거나 단축 시켜야 할것이다[1, 2]. 그러나, 아무리 좋은 전자신호등도 변화하는 교통량의 흐름에 교통 신호주기를 연장이나 단축 할 수

없게된다[3, 4, 5]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선 하기 위해서 각 교차로에 통과차량의 대수, 통과차량속도, 교차로용량, 누적차량수, 출발지연시간 등을 교차로에 설치한 Loop Detector를 통해서 파악한후에 퍼지 신경망 제어를 이용해서 각 교차로를 연동 시켜서 승용차 대기시간을 최소로하고, 평균 주행속도를 향상 시키는 연구이다[7, 8].

II장에서는 갑작스러운 교통량의 증가시에 승용차 대기시간을 최소로 하는 신호주기 방법 방법을 알아본다. III장에서는 10개 교차로를

연동화를 할 때에 , 각 인근 교차로마다 다른 교차로의 직진차선수, 교차로길이에 따른 포화도 등으로 인해서 발생하는 앞 막힘현상과 최적 녹색시간을 산출하기 위하여 퍼지보정계수를 구하는 방법을 설명한다.

IV장에서는 퍼지 신경망제어를 이용하여 10 개 교차로의 최적 녹색시간을 구하여 1 분 단위로 교통상황을 예보하는 교통상황 실시간 예보시스템을 알아본다. V장에서는 기존의 교통 신호등과 퍼지 신경망을 이용한 교통실시간 예보 시스템의 승용차 대기 시간을 비교분석한다.

## II. 교통 신호주기

최근 자동차의 급증으로 대도시의 자동차 정체 현상은 심각한 문제로 대두 되고있으며, 96년 이후, 총물류비 64 조원중에서 총수송비가 42조 4 천억원, 교통 혼잡비용이 16 조원으로 매년 증가 하고 추세이다. 만약, 요즈음과 같이 예측 할 수 없는 갑작스러운 교통량의 증가나 감소시에 발생하는 승용차 대기시간을 20-30%만 개선시켜도 연간 10조원 이상의 교통 혼잡비용을 개선시킬 수 있다.

표1. 도로조건에따른 최적 녹색시간

포화도		통과차량	교차로 차선수		승용차 보상 계수	퍼지 교차로 길이 * 속도	도로조건		최적 녹색 시간
상위교차로	하위교차로	상위교차로	상위 교차로	하위 교차로			상위 교차로	하위 교차로	
과포화	근포화	많음	1-2	3-4	1.8	H	이 거리 삼거리	사거리	GT1
과포화	근포화	많음	1-2 3-4	1-2 3-4	1.5	H	이 거리 삼거리 사거리	이 거리 삼거리 사거리	GT2
과포화	근포화	많음	3-4	1-2	1.5	S	사거리	이거리 삼거리	GT3 차선수
과 포화	과포화	많음	ok	ok	1.5	s	ok	ok	GT4 단축
과 포화	미포화	적음	ok	ok	1.5	H	ok	ok	GT5 단축
미 포화	미 포화	많음			1.5	s			GT6
근포화	과포화	많음	1-2	1-2	1.5	H			GT7 단축
미포화	근포화	많음	3-4	1-2	1.5	S	사거리	이 거리 삼거리	GT8 단축
미포화	근포화	많음	1-2 3-4	1-2 3-4	1.5	S	이 거리 삼거리 사거리	이 거리 삼거리 사거리	GT9
미포화	근포화	많음	1-2	1-2	1.5	s	이 거리 삼거리	사거리	GT10

효율적인 녹색신호주기를 산출하기 위해서 Webster 방식이나, Box Jenkins 혹은 Kalman Filter을 이용한 교통 예측 방법과, Box - Jenkins process에 Moving Average를 적용한 예측모형을 이용하여 최적의 녹색 신호주기를 생성하였다.

그러나, 이러한 방법은, 한정된 도로에서 통계적인 방법으로 장기적인 교통 신호주기를 계획하는 데에만 효과적으로 적용될 수 있었다. 다시 말해서, 갑작스럽게 단기적으로 변화하는 교통량의 증가나 감소에는 정확한 통과차량 대수의 대수를 파악하기 힘들기 때문에 승용차 대기시간을 최소로 하는 녹색신호주기를 생성할 수 없었다. 그러므로, 아무리 잘 설계된 전자신호등도, 갑작스러운 교통량의 증가시에 제 역할을 할 수 가 없게된다. 특히, 교차로의 용량에 비하여 100%이상을 초과하는 상태, 즉, 통과차량이 과포화 상태가 되면 앞 막힘 현상이 발생하기 때문에 도로는 어느 방향으로도 진입을 못하는 주차장이 되어서 신호등의 역할을 못하게된다.

$$GT1= NVEH * 3 + CFLane + Starting Delay Time + End lagtime$$

$$LostTmeG1=Green-1( 1/3 Pg) + Yellowtime(Pg + 1/2 Py) + Redtime(Pg + Py + 1/3 Pr)$$

$$GT2= NVEH * 3 * + Starting Delay Time$$

$$LostTmeG2=Green-1(1/21Pg)+Yellowtime(Pg+1/2Py)+Redtime (Pg+Py+1/2Pr)$$

$$GT3= NVEH * 3 * CFLane + Starting Delay Time + Road conversion Time$$

$$LostTmeG3= Green-1(Pg)+Yellowtime(Pg+1/2Py)+Redtime (Pg + Py + 1/2Pr)$$

$$GT4= NVEH * 3 + Delay Time$$

$$LostTmeG3=Green-1(1/4 Pg) + Yellowtime(Pg+ 1/4 Py) + Redtime(Pg + Py + 1/4 Pr)$$

$$GT5= NVEH * 3 * CFLane + Starting Delay Time + Road conversion Time$$

$$LostTmeG3 = Green -1(1/4 Pg) + Yellowtime( 1/3 Pg+1/4 Py) + Redtime( 1/3 Pg + Py + 1/4 Pr)$$

여기서,

GT1,Gt2..Gt5: 연동을 고려한 최적 녹색 시간

NVEH: 통과 차량 대수 ( Number of Vehicles)

CFLane: 차선 보상계수 (Conversion factor of Lane)

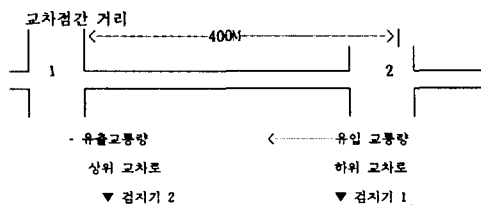
Starting Delay Time: 출발 지연시간

Road conversion Time: 교차로 형태 보상시간  
 LostTime : 승용차 대기시간  
 PG: 예상 녹색시간 Probability of Green Time  
 PY: 예상 황색시간 Probability of Yellow Time  
 PR: 예상 적색시간 Probability of Red Time

하위 교차로를 출발한 차량은 상위교차로에 도착 할때까지 교차로의 포화도 (과포화, 근포화, 미포화), 교차로의 길이, 교차로의 차선수, 교차로의 형태(사거리, 삼거리, 이거리)에 따라서 교차로의 신호주기를 연장 및 단축 해야한다.

$$N(t) = \sum_{t=1} (V_i(t) - D_i(t))$$

$N(t)$  : 누적잔류차량대수  
 $G_i$  : j 교차로 해당방향 녹색시간  
 $V_i(T)$  : i 링크에서의 유입교통량(대/주기)  
 $D_i(T)$  : 검지기 2로 부터의 유출교통량 (대/주기)



$$Optimal Capacity \geq Upcap - \sum_{n=1}^{n=10} (Q_{ni} + A_{cni})$$

여기서  
 OptimalCapacity= 최적 교통차량길이 (Meter)  
 Upcap = 상위교차로 도로길이 (Meter)  
 $Q_{ni}$  = 하위교차로 통과차량 대기행렬 (Meter)  
 $A_{cni}$  = 하위교차로 누적 차량 대기행렬 (Meter)

표2. 교차로용량에따른 3가지 포화도

미포화	근포화		과포화
	안정상태	불안정상태	
상위교차로, 하위교차로에 대기행렬의 형성이 안된 상태	상위교차로에 대기행렬이 형성이 안되었고 하위교차로에 대기행렬이 줄어들거나 포화도를 0.5를 유지	상위교차로에 대기행렬이 형성이 안되었고 하위교차로에 대기행렬이 계속 커짐	상위교차로에 대기행렬이 생성이 되고 하위교차로에 포화도가 1에 가까워지고 출발지연시간 발생

차량의 통과차량을 예측 분석해서 진행차량의 예상평균속도를 구해서 최적의 주기를 구하는 방법이다. 만약 1 주기(CYCLE)에서 차량이 완

전히 소용되지않고  $Q_G$ 라는 차량수가 남게되면 적색등시간에 적재차량  $Q_N$ 은 다음과 같이 된다.

$$Q_N = Q_G + \sum_{T=1}^n N_{T1}$$

$Q_R$ 은 적색신호등 시간에 정체된 차량수이고  $Z$ 는 녹색시간에 정체된 차량이 있으면 1이고 그 외는 0이된다. 따라서 녹색등 시간에 차량의 지연시간은 다음과 같다.

$$D_{N-C} = \sum_{n=2}^n (Q_n + \sum_{T=1}^{n-1} N_{T1} - S_N)$$

표 2. 에서보는것처럼 하위교차로의 통과차량이 많더라도, 상위교차로의 도로상태가 미포화나, 근포화의 신호주기를 하위교차로의 대기차량수에 근거한 신호주기를 생성할수있으나, 만약, 상위교차로가 포화상태이면, 하위교차로의 대기차량수가 아무리 많더라도, 상위교차로의 포화상태에 적합한 신호주기를 생성하여야 과포화및 다음현시의 출발지연시간을 단축할 수 있다.

### III. 퍼지교통신호등

II. 장에서는 교통신호주기 및 앞 막힘 현상예 방, 연동화, 승용차대기시간에 관해서 알아보았다. 그러나 교차로가 10개 정도 연동화가되면 상위교차로를 출발한 교차로의 길이가 같지않고, 교차로의 형태가 오거리, 사거리, 삼거리, 이거리 등으로 차량의 진입량이 틀려진다.

즉, 상위교차로(오거리)를 통과한 차량이 하위 교차로(삼거리, 이거리)를 진입하려면 교차로 의 차선수가 갑자기 줄어들기 때문에 갑작스러운 차량의 증가로인해서 앞 막힘현상이나 승용차 대기시간을 유발한다. 뿐만아니라, 직진 및 회전 차선의수, 통과차량의 속도, 직진 및 회전차선의 공유로 인해서 정확한 직진 통과차량의 대수를 환산하기가 어렵다. 그러므로, 똑 같은 교차로라고해도 교차로의 형태, 교차로길이,

통과차량속도, 교차로 차선수, 직진 및 회전차선의 공유차선 등으로 인해서 승용차대기시간을 최소화하는 최적 신호주기를 생성하기 어렵기 때문에 교차로의 최적신호주기를 생성하기 위해서 본 논문에서는 퍼지 및 신경망 규칙을 이용하여 10개교차로의 최적신호주기를 구했다.

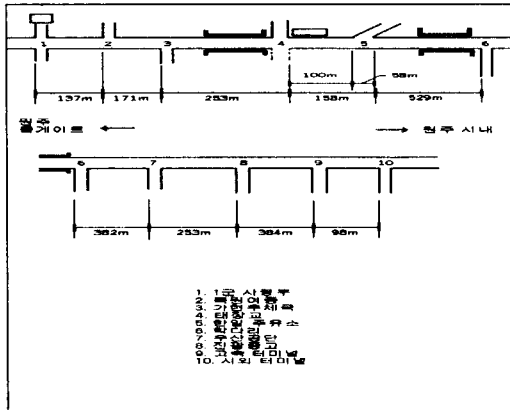


그림 1. 연동화를 위한 교차로 10개 개요도

그림 1. 에서 보는것처럼 각 교차로의 길이가 틀리기 때문에 갑작스러운 교통량의 증가시에 반드시 하위교차로의 포화도와 교차로의 형태에따른 보정계수를 구하여야한다.

	①				②			③			시간 (초)
	R	Y	A	G	R	Y	A	R	Y	G	
1				●	●					●	40
2		●			●				●		3
3	●				●		●	●			20
4		●				●		●			3
9			●	●	●			●			35
10		●			●			●			3

그림 2. 10개 교차로 최적 녹색신호주기

그림 2.는 그림 3. 에서 보는것처럼 교차로가 연동 되었을 경우, 상위교차로를 통과한 차량이 하위교차로를 진입했을 때 교차로차선의 수나 교차로의 길이에 의해서 앞 막힘현상이나 교통체증을 가중시킬 수 있다. 특히, 교차로A-B로 접근하는 대항가로 의 차선수 (La), 매 주기당간선으로 진입하는 평균회전차량대수(μc)

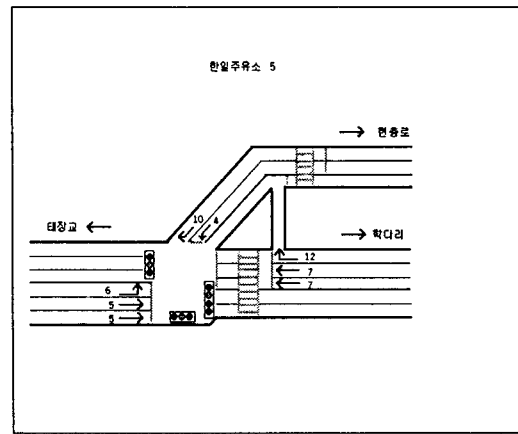


그림 3. 삼거리 교차로

$$g_a = \frac{L_b(g_a - 1) - h(\mu_m - \mu_c)}{L_b} + 1$$

여기서

ga : 교차로 A 로 접근시 필요한 교차로로 녹색시간

gb:교차로B로 접근시 필요한 교차로 녹색시간

l: 손실시간때 녹색현시 (각 노드에서 일정하다고 가정)

La: 교차로A. 로접근하는 대항가로의 차선수

Lb: 교차로로 접근하는 대항가 의 차선수

μ: 매 주기당 간선으로 진입하는 평균 회전 차량대수

μm: 매주기당 교차도로에서 간선으로 진입하는 평균 회전차량 대수

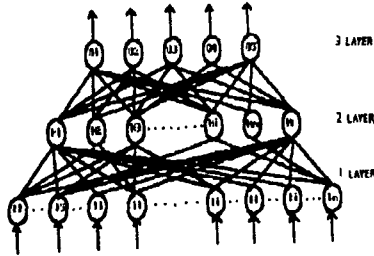
#### IV. 퍼지신경망을 이용한 교통상황예보

우리나라 에서도 인터넷에 접속하면 현재의 국도및, 고속도로 상황을 24 시간 실 시간으로 검색할 수 있다.

각 10개 교차로의 통과 차량수, 대기 차량수, 교차로 포화상태, 교차로 차선수, 교차로길이, 현재 자동차 속도, 출발 지연 시간 등을 퍼지 함수 입력으로 하여서, 각 교차로의 최적 녹색 시간을 생성하여 교통 혼잡을 미리 예상하여 승용차 대기시간 및 예상 통행시간을 단축시키는 연구가 활발히 움직이고 있다. 그림. 2와 그림. 3은 갑작스러운 교통량의 증가시에 승용차 대기시간을 최소화하는 녹색시간을 산출하기위해서 교차로 10개의 지능 신경망의 구

조와 입력 데이터 구성을 보여주고있다.

optima 1    optimal    optimal    optimal    optimal  
 Traffic    Traffic    Traffic    Traffic    Traffic  
 Cycle K    cycle K+1    cycleK+2    cycle K+3    cycle K+4



Traffic    Traffic    Traffic    Vehicle    Delay    Traffic    Traffic    Traffic  
 I.D. 01    I.D. 02    I.D. 03    Speed    Time    I.D. 08    I.D. 09    I.D. 10  
 Volume    Volume    Volume    Volume    Volume    Volume    Volume    Volume

그림 4. 신경망을 이용한 지능신호등

그림 4.는 표.3의 입력 데이터를 II장 에서 설명한 도로상태에 따른 보정계수를 퍼지화하여서 입력했을 때 각 10개 교차로의 신호주기를 생성하는 과정을 나타내고있다.

표 3. 퍼지신경망신호등 입출력 데이터

INPUT	NODE	NODE	NODE	NODE	NODE	NODE	NODE	NODE	NODE	
	1-2 REDU CE	1-2 EXTEN SION	3-4 REDU CE	3-4 EXTEN SION	5-6 REDU CE	5-6 EXTEN SION	7-8 REDU CE	7-8 EXTEN SION	9-10 REDU CE	9-10 EXTEN SION
1. SATURATION UP BIG	SMALL	MED	SMALL	BIG	SMALL	BIG	SMALL	BIG	SMALL	BIG
2. SATURATION UP SMALL	BIG		BIG	SMALL	BIG		BIG		BIG	
3. PASSING UP SMALL	SMALL									
4. PASSING UP BIG	BIG		BIG		BIG		BIG		BIG	
5. SATURATION DN SMALL	BIG	MED								
6. SATURATION DN BIG	SMALL									
7. PASSING DN SMALL	BIG		BIG		BIG		BIG		BIG	
8. PASSING DN BIG	SMALL	BIG	MED							
9. PASSING PCU			BIG	BIG						
10. SPEED & LENGTH DN										
11. SPEED & LENGTH UP										
12. SPILLBACK DOWN										
13. SPILLBACK UP	BIG	SMALL	BIG	SMALL	BIG		MED		BIG	
14. DELAY UP	LOW	HIGH								
15. DELAY DN	BIG	SMALL	BIG	SMALL	MED	SMALL	BIG	SMALL	MED	SMALL
16. LANES UP	BIG	SMALL	BIG	SMALL	BIG	SMALL	BIG	SMALL	BIG	SMALL
17. LANES DN	BIG									
18. BLOCK AREA	SMALL	SMALL	SMALL	SMALL		SMALL		SMALL		SMALL
19. PHASE-1 UP	SMALL	BIG		SMALL		SMALL		SMALL		SMALL
20. PHASE-1 DN	BIG	BIG	BIG		BIG		BIG		BIG	

그림 5.는 표 3.과 그림 4.의 신호주기 10개를 연동화 및 갑작스러운 차량의 증가시에 승용차 대기시간을 최소화하고 평균주행속도를 개선하는데 필요한 상위교차로와 하위교차로의 통과 차량속도 , 대기행렬길이, 교차로용량 , 교차로조건, 차선공용 보정계수 등을 고려한 퍼지 신경망 입력 데이터를 설명하고 있다.

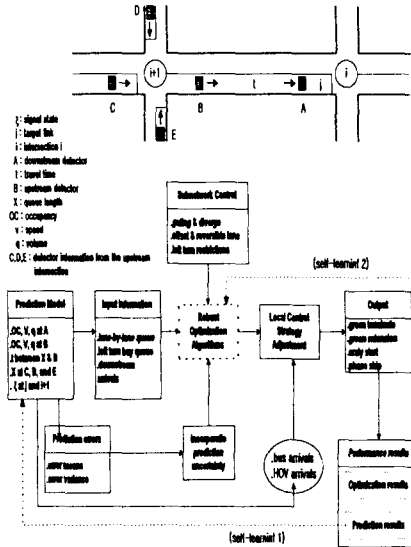


그림 5. 지능신호등 입력 Data 구성도

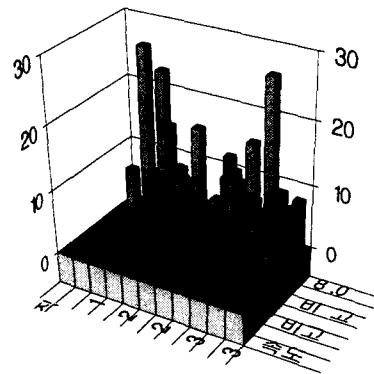


그림 6. 지능신호등과 기존신호등의 대기시간 비교

## V. 결론

아무리 잘 설계된 전자신호등도, 갑작스러운 백화점 SALE행사나, 명절이나 공휴일에는 예측할 수 없는 교통량의 증가로 인해서, 즉, 도로교통 포화율이 130% 이상이 되면 제 역할을 할 수 가없다.

그러므로, 본 논문에서는 퍼지신경망을 이용하여서 교통체증이 심할 경우에 매 5분단위로 교차로 10개의 교통상황을 보고해주며 각 교차로의 차량 흐름에 따라서 최적의 녹색신호 주

기를 생성함으로써 승용차대기시간을 단축시키고 평균 주행속도를 향상시키는 연구이다. 그러나, 가장 효율적인 교통신호주기를 생성하려면 10개의 교차로를 1 개의 교통관제소로 관리하여, 교차로의 직진및 우회전 혼용 차선의 회전 보상계수값과 교차로의 도로조건에 따른 보상계수를 산출해야 과 포화시에 앞 막힘을 예방함으로써 승용차 대기시간을 줄일 수 있다. 뿐만아니라, 1 주일전에 각종행사에따른 교통량의 흐름을 분석하여 각 교차로의 포화 교통량을 예측하는 시뮬레이션 프로그램, 목적지 도착예상시간과 최적경로, 우회도로, 주유소, 음식점을 안내해주는 모의프로그램의 통합화는 1 주일전의 교통량을 미리예측하여 운전자에게 최적의 도로교통 서비스를 제공해 줄 수 있을것이다.

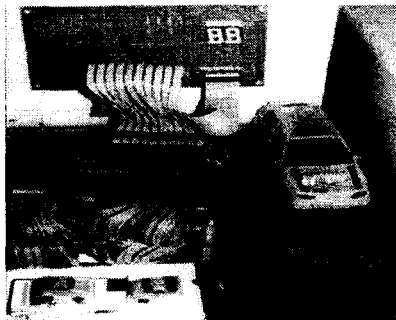
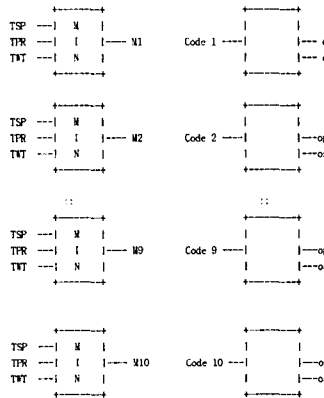
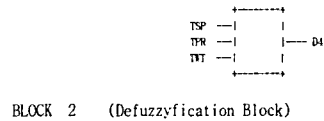
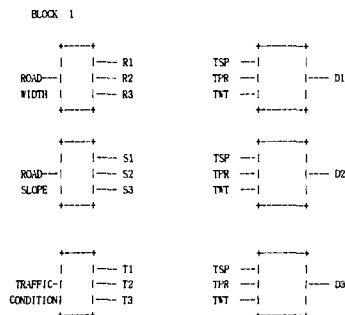


그림 7. 모의 교통신호 신호등 개요도

	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



참고문헌

[1] Allsop, R.E.: Delay at a Fixed Time Traffic signal. I: Theoretical Analysis, Transp. Sci., 6(3), pp. 260-285, 1972  
 [2] K.G. Courage and S.M. Parapar, "Delay and Fuel consumption at Traffic Signals", Traffic Engineering, Vol. 45, Nov. pp. 23-27, 1975  
 [3] Werner Brilon and Ning Wu: Delay at Fixed Time Traffic Signals under Time Dependent Traffic conditions, Traffic. Engng. Contol, 31(12), pp. 623-631, 1990.  
 [4] C.P. Pappis, E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction", IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 7(10), 707-717, 1977.  
 [5] M. Jamshidi, R. Kelsey, K. Bisset, "Traffic Fuzzy Control, Software and Hardware implementations", Proc. 5th IFSA, pp. 907-910, Seoul, Korea, 1993.  
 [6] 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.  
 [7] Hong, YouSik and Park, ChongKug, "Considering Passenger Car Unit of Fuzzy Logic", Proc. of the sixth international fuzzy system association, IFSA, 1995, pp. 461-464  
 [8] 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  
 [9] Miller, A.J. Settings for Fixed-Cycle Traffic Signals, Oper. Res. Q., 14, pp. 373-386, 1963