

논문 2004-41CI-4-9

퍼지 및 지능적 PLC에 의한 실시간 교통상황 예보 시스템

(Forecasting of Real Time Traffic Situation by Fuzzy and Intelligent Software Programmable Logic Controller)

홍 유 식*, 조 영 임**

(You-Sik Hong and Young-Im Cho)

요 약

제한된 도로에서 증가되는 차량으로 인해서, 평균주행속도가 떨어지고 교차로의 대기 손실이 많아지고 있다. 본 논문은 10개 교차로를 연동 제어를 할 수 있는 새로운 교통체제 개념을 제안한다. 예를 들어서 오늘 야구경기가 8시경에 열린다고 하면 야구경기가 시작하기 전 1시간 혹은 1시간 30분전에 교통량이 증가할 것이다. 이럴 때에는 아무리 우수한 전자 신호등 시스템도 최적녹색시간을 예측할 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 평균 승용차 대기시간을 최소화하고 평균 주행속도를 향상하기 위해서 전처리로써 퍼지규칙 및 신경망을 이용한다. 또한 후처리로써 예기치 못한 상황을 지능적으로 제어할 수 있는 지능적인 소프트웨어 PLC(Programmable Logic Controller)를 구현하였다. 시뮬레이션결과 제안된 연동 녹색시간이 연동 녹색시간을 고려하지 않은 전자신호등보다 평균 승용차 대기시간을 줄일 수 있음을 입증했다.

Abstract

With increasing numbers of vehicles on restricted roads, It happens that we have much wasted time and decreased average car speed. 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 as a preprocessing. Also, we developed an Intelligent PLC(Programmable Logic Controller) for real time traffic forecasting as a postprocessing about unexpectable conditions. Computer simulation results proved reducing average vehicle waiting time which proposed coordinating green time better than electro-sensitive traffic light system does not consider coordinating green time.

Keywords : PLC, 신경망 및 퍼지 시스템, 최적 녹색 신호주기, 실시간 교통상황,

I. 서 론

기존의 교통신호시스템은 대형차량의 구성비 가 적고, 과포화 상태가 적었기 때문에 1960년도에는 년별 월별 일별로 교차로를 통행하는 평균차량 data를 미리 입력 시켜서 교통 신호주기를 생성 시키는 Time of Day(T.O.D.)신호등 방식을 사용하였다.^[1,2,3] 교통개발

연구원은 2002년 전국 도로교통혼잡비용을 산출한 결과 22조1천3백56억원으로 국내총생산(GDP)의 3.71%에 이른다고 14일 밝혔다. 이는 전년도 보다 1조2백70억원이 늘어난 것으로 1.2개의 경부고속철도를 건설할 수 있는 비용이다^[4,5]. 이러한 문제점을 해결하기위해서 퍼지 규칙을 이용하여 교통신호주기를 개선하고 승용차 대기시간을 단축하는 연구가 많이 이루어지고 있다^[6,7,8,9]

* 상지대학교 컴퓨터정보공학과
(Dept.of Computer Science, Sangji University)

** 평택대학교 컴퓨터과학과
(Dept. of Computer Science, PyongTaek University)

접수일자: 2004년1월20일, 수정완료일: 2004년7월15일

본 논문에서는 평균 주행속도를 향상하기 위해서 전처리로 신경망을 이용하여 최적녹색시간을 산출한다.

그러나, 실제 교차로에서는 갑작스러운 교통사고 및 공사 때문에 정확한 직진 및 회전 차선 수, 교차로 형

태에 따른 정확한 예상 통과차량을 산출하지 못하게 된다. 이러한 경우에는 신경망 입력조건을 다시 수정하고 재학습시켜야만 정확한 교통신호주기를 산출할 수 있다.

그러므로, 본 논문에서는 전처리에서 교통사고로 인해서 신경망을 이용한 최적 교통신호주기가 부정확하게 산출되는 것을 방지하기 위해서 후처리로 지능형 에이전트 및 PLC 기법을 이용하였다. 가령, 어느 교차로에서 사고가 발생했는지를 알아야한다. 갑작스러운 교통사고나 도로공사 등으로 인하여, 승용차 대기시간을 최소화 하기 위해서는, 일부 차선 폐쇄와 교차로 좌회전 금지 상태조건을 판단하여, 최적의 녹색신호주기를 생성해야 한다. 단순히, 통과차량의 많고 적음에 따라서 교통신호주기를 연장하거나 단축시키는 것이 아니라, 에이전트 기법을 이용하여, 교차로 조건 및 폐쇄된 차선에 진입할 수 있는 포화교통량을 예측하여, 최적의 녹색시간을 생성해야한다.

PLC(Programmable Logic Controller)는 PC라고도 불리우는 것으로 PLC 프로그래밍에 의해 제어되고 있다^[10,11,12,13]. PLC는 PC개발과 함께 PC-based control이 등장하게 되었다. PC-based control은 하드웨어적 PLC의 여러 단점들을 보완하고 뛰어난 성능과 유연성으로 PLC를 대체할 차세대의 솔루션으로 인정받고 있다.

그러나 국내에서는 이 기술에 대한 인지도 및 적용률이 미진하여 세계적인 변화에 편승하지 못하고 있는 실정이다. 또한 우리나라는 세계에서 장비출하대수가 1위임에도 불구하고 장비에 들어가는 제어기의 90% 이상을 일본에서 수입한 PLC 제어에 의존하고 있는 형편이다.

그러므로 본 논문에서는 후처리로 지능형 에이전트 및 PLC 기법을 이용하여, 교통사고 및 각종 행사로 인한 일부 차선 폐쇄와 좌,우 회전 금지, 4현시에서 2현시 변환등과 같은 실시간 교통정보를 교통관제소 컨트롤 에이전트 판단에 따라 10개 교차로의 최적 신호주기를 생성할 수 있도록 해준다. 새롭게 생성된 규칙은 교통정보 인덱스 라이브러리에 저장함으로써 미포화, 근포화, 과포화시에 퍼지규칙을 이용한 교차로 보정조건, 보행자 수, 횡단보도 유무에 따라서, 어떠한 교차로에서도 재사용이 가능할 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 교통신호주기 및 앞 막힘 현상 예방, 연동화, 승용차 대기시간에 관해서 설명한다. III장에서는 연동화를 할 때에 각

인근 교차로마다 다른 교차로의 직진 차선 수, 교차로 길이에 따른 포화도 등으로 인해서 발생하는 앞 막힘 현상과 최적 녹색시간을 산출하기 위하여 퍼지 보정계수를 구하는 방법을 설명한다. IV장에서는 퍼지 신경망 제어를 이용하여 10개 교차로의 최적 녹색시간을 구하여 1분 단위로 교통상황을 예보하는 시스템을 구축하고, 교통상황 실시간 예보에 따른 소프트웨어 제어시스템을 PLC를 이용해 구현하고 시뮬레이션 결과를 설명하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺고자 한다.

II. 교통 신호주기

최근 자동차의 급증으로 대도시의 자동차 정체 현상은 심각한 문제로 대두되고 있으며, 96년 이후, 총 물류비 64조원 중에서 총 수송비가 42조 4천억원, 교통혼잡비용이 16조원으로 매년 증가하고 추세이다. 만약, 요즘과 같이 예측 할 수 없는 갑작스러운 교통량의 증가나 감소시에 발생하는 승용차 대기시간을 20-30%만 개선시켜도 연간 10조원 이상의 교통 혼잡비용을 개선시킬 수 있다. 본 논문에서는 그림 1.에서 보는 것과 같이 인터넷을 이용하여 10개 교차로 단위로 교통상황예보 시스템의 구조를 나타낸 그림이다.

그러나 아무리 잘 설계된 전자신호등도 갑작스러운 교통량의 증가나 갑작스러운 교통사고 및 도로공사 일 경우에는 최적 녹색시간을 산출할 수 없다. 특히, 교차로의 용량을 100% 이상 초과하는 상태, 즉, 통과차량이 과포화 상태가 되면 앞 막힘 현상이 발생하기 때문에 도로는 어느 방향으로도 진입을 못하는 주차장이 되어서 신호등의 역할을 못하게 된다.

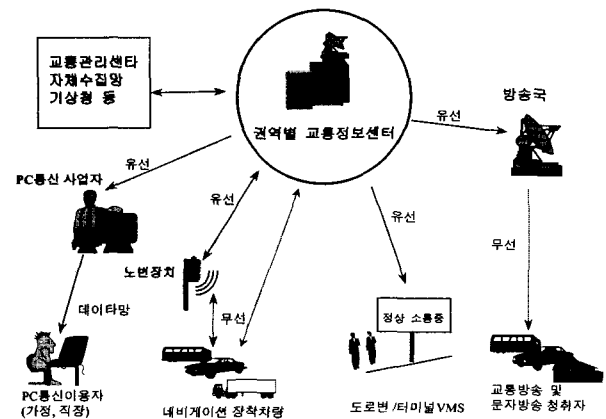


그림 1. 인터넷을 이용한 교통상황예보
Fig. 1. Forecasting of traffic situation using internet.

표 1. 도로 조건에 따른 최적 녹색시간
Table 1. Optimal green time depending on road conditions.

포화도		통과 차량	교차로 차선수		교차로 사고 구간	통과 차량 속도	도로조건		최적 녹색 시간
상위 교차로	하위 교차로		상위 교차로	하위 교차로			상위 교차로	하위 교차로	
과포화	근포화	많음	1-2	3-4	1.8	34	이 거리	사 거리	GT1
과포화	근포화	많음	3-4	1-2	1.5	22	이 삼거리	이 삼거리	GT2
과포화	근포화	많음	3-4	1-2	1.2	33	사 거리	삼거리	GT3 차선
근포화	과포화	많음	1-2	1-2	1.5	42	사 거리	사 거리	GT7 단축
미포화	근포화	많음	3-4	1-2	1.6	22	사거리	이 삼거리	GT8 단축
미포화	근포화	많음	4-6	3-4	1.3	37	이 삼거리	이 삼거리	GT9

표 1. 에서 보는 것과 같이 상위 교차로에 통과차량이 많은 경우라도 하위교차로의 차선수가 적거나, 과포화 상태일 경우에는 최적 녹색시간이 연장이 되는 것이 아니라 단축 되어야 한다. 수식은 교차로 조건을 고려한 승용차 대기시간을 설명하고 있다.

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

$$G2 = Nveh * 3 + SDT \quad (2)$$

$$LostTmeG2 = green - 1(1/21Pg) + Yellowtime(Pg + 1/2Py) + redtime(Pg + Py + 1/2Pr) \quad (3)$$

$$G3 = Nveh * 3 * CFLane + SDT + roadconversionTime \quad (4)$$

$$LostTmeG3 = green - 1(Pg) + yellowtime(Pg + 1/2Py) + redtime(Pg + Py + 1/2Pr) \quad (5)$$

$$G4 = Nveh * 3 + \nabla ayTime \quad (6)$$

$$LostTmeG3 = green - 1(1/4Pg) + yellowtime(Pg + 1/4Py) + redtime(Pg + Py + 1/4Pr) \quad (7)$$

$$G5 = Nveh * 3 * CFLane + SDT + roadconversiontime \quad (8)$$

$$LostTmeG3 = green - 1(1/4pg) + yellowtime(1/3Pg + Py + 1/4Pr) \quad (9)$$

단, $G1, G2, \dots, G5$: 연동을 고려한 최적녹색 시간
 $NVEH$: 통과 차량대수(Number of Vehicles)
 $CFLane$: 차선 보상계수(Conversion factor of Lane)
 SDT : 출발 지연시간
 $Road conversion Time$: 교차로 형태 보상시간
 $LostTme$: 승용차 대기시간
 PG : 예상 녹색시간 Probability of Green Time
 PY : 예상 황색시간 Probability of Yellow Time
 PR : 예상 적색시간 Probability of Red Time!

III. 연동된 교통 신호등

교차로가 10개 정도 연동되면 상위교차로를 출발한 교차로의 길이가 같지 않고, 교차로의 형태가 오거리, 사거리, 삼거리, 이거리 등으로 차량의 진입량이 틀려진다. 즉, 상위교차로(오거리)를 통과한 차량이 하위교차로(삼거리, 이거리)를 진입하려면 교차로의 차선수가 갑자기 줄어들기 때문에 갑작스러운 차량의 증가로 인해서 앞 막힘 현상이나 승용차 대기시간을 유발한다.

뿐만 아니라, 직진 및 회전 차선의 수, 통과차량의 속도, 직진 및 회전차선의 공유로 인해서 정확한 직진 통과차량의 대수를 환산하기가 어렵다. 그러므로 똑 같은 교차로라고 해도 교차로의 형태, 교차로 길이, 통과.3차량 속도, 교차로 차선 수, 직진 및 회전차선의 공유차선 등으로 인해서 승용차대기시간을 최소로 하는 최적 신호주기를 생성하기 어렵기 때문에 교차로의 최적신호주기를 생성하기 위해서 본 논문에서는 신경망을 이용하여 10개 교차로의 최적신호주기를 구했다.

그림 2.에서 보는 것처럼 각 교차로의 길이가 틀리기 때문에 갑작스러운 교통량의 증가시에는 반드시 하위 교차로의 포화도와 교차로의 형태에 따른 보정계수를 구하여야 한다.

그러므로, 교차로에서 발생하는 승용차 대기시간 및 앞막힘 현상을 예방하려면 교차로의 차선 수 및 교차로의 형태에 따라서 포화교통량이 틀려지게 되기 때문에 퍼지 관계 $R(x, y)$ 를 이용하면, 승용차 대기시간 및 평균 주행속도를 향상시키는 최적 주기를 생성할 수 있다. 첫 번째 방법은 퍼지 행렬(Fuzzy Matrix)로 표현

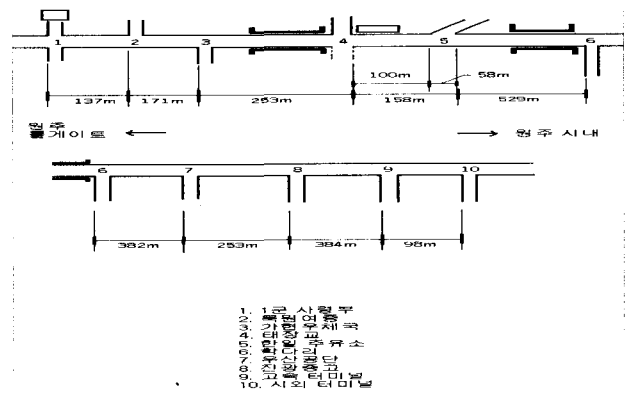


그림 2. 도로조건이 틀린 교차로 10개
Fig. 2. 10 Different traffic conditions for traffic intersection.

	교차로(사거리) Y1 (4차선)	교차로(사거리) Y2 (2차선)	교차로(사거리) Y3 (6차선)
교차로(사거리) X1 (2차선)	0.7	0.5	0.86
교차로(사거리) X2 (4차선)	0.5	0.35	0.7

그림 3. 퍼지 행렬을 이용한 교차로 길이 보정계수
Fig. 3. Fuzzy conversion factor for length of traffic intersection using fuzzy matrix.

하는 방법이다. 퍼지 행렬은 행렬을 구성하는 모든 원소가 교차로 특성에 따라서 [0, 1] 사이의 값을 갖게 된다. 또 다른 방법은 퍼지 그래프(Fuzzy Graph) 표현하는 방법이다. 가령, 교차로에 통과차량이 많고, 상위교차로(4거리)가 4차선이고 하위교차로(4거리) 4차선일 때에는 포화교통량이 같게 된다.

그러나, 상위교차로(4거리)가 4차선이고 하위교차로(4거리) 2차선일 때에는 포화교통량이 반으로 줄게 된다. 반대로, 상위교차로(4거리)가 2차선이고 하위교차로(4거리) 4차선일 때에는 포화교통량이 2배로 늘어나게 된다.

본 논문에서는 상위교차로(4거리)가 4차선이고 하위교차로(4거리) 4차선일 때에는 포화교통량을 0.5로 산정했으며, 교차로 차선 수에 따라서, 포화 교통량을 산정 하는 것을 퍼지 규칙을 이용해서 교차로 보정 계수를 구했다.

퍼지 그래프에서는 퍼지 관계 X와 Y내의 각 원소들이 실제 교차로에서의 노드로 표현되며, R(x, y)내의 0이 아닌 교차로 차선 및 길이에 따라서 포화용량을 보정하는 X × Y의 각 원소들이 퍼지 보정계수를 이용해서 산출된다. 교차로를 의미하는 링크 위에는 과포화시에 앞막힘 현상을 예방하고 최적신호주기를 생성할 수 있는 퍼지 보정계수 정도가 표시된다. 그러므로 R(x, y) = "인접교차로 2개의 차선 수 및 형태를 고려한 퍼지 보정계수"는 그림 3의 퍼지 그래프로 표현될 수 있다.

그림 4. 에서는 상위 교차로 및 하위 교차로가 똑같은 사거리이고 차선 수만 변경되었을 경우의 퍼지 보정계수를 산출하였다. 그러나 실제 교차로에서는 그림 5. 에서 보는 것과 같이, 상위교차로가 사거리이고, 하위교차로가 삼거리인 경우에는 상위교차로와 하위교차로의 직진 및 회전차선수가 틀려지게 된다. 즉, 교차로의 형태나 차선 수에 의해서 같은 통과차량이 진입했을 경우에도 최적의 신호주기를 구하기 위해서는

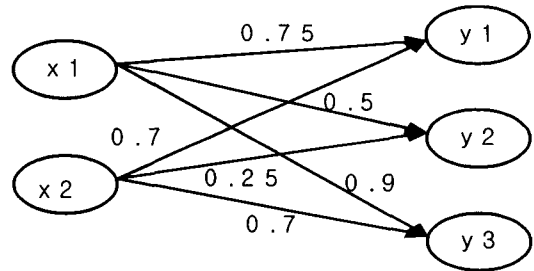


그림 4. 퍼지 그래프를 이용한 교차로 길이 보정계수

Fig. 4. Fuzzy conversion factor for length of traffic intersection using fuzzy graph.

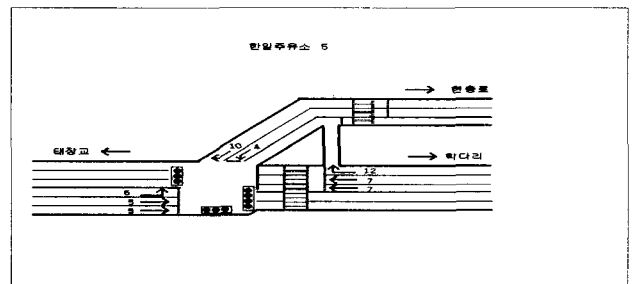


그림 5. 삼거리 교차로

Fig. 5. Three way junction for traffic intersection.

교차로 형태 및 차선수를 고려한 퍼지 보정계수를 고려하여 신호주기를 산출해야 한다. 그림 6. 은 상위교차로를 통과한 차량이 하위교차로를 진입했을 때 교차로 차선의 수나 교차로의 길이, 직진 및 회전차선의 공유 여부에 의해서 앞 막힘 현상이나 교통체증을 줄이기 위한 퍼지 보정계수를 보여주고 있다. 특히, 교차로 A-B로 접근하는 대향가로의 차선 수 (La), 매 주기당 간선으로 진입하는 평균회전차량대수(μc) 경우에 교차로 B로 접근할 때 필요한 녹색 신호시간 gb는 다음과 같다.

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

여기서

- ga: 교차로 A로 접근 할 때 필요한 교차도로 녹색시간
- L: 손실시간 매 녹색현시 (각 노드에서 일정하다고 가정)
- Lb: 교차로로 접근하는 대향가로의 차선 수
- μ: 매 주기당 간선으로 진입하는 평균 회전 차량대수
- μm: 매 주기당 교차도로에서 간선으로 진입하는 평균회전 차량 대수

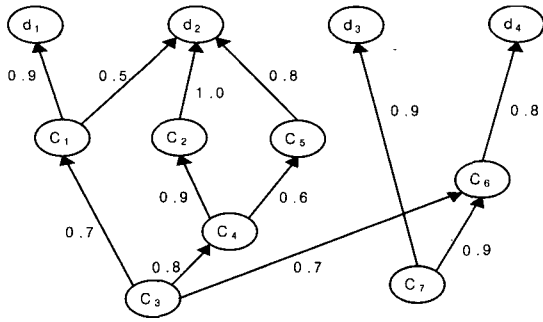


그림 6. 교차로 형태 및 차선수를 고려한 퍼지 보정계수
Fig. 6. Fuzzy revision factor for traffic intersection shape and number of lanes.

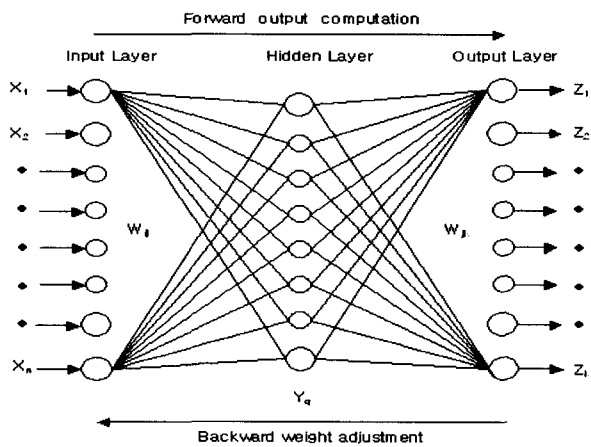


그림 7. 신경망을 이용한 지능신호등
Fig. 7. Intelligent traffic signal light using neural network.

본 논문은 그림 7.과 같은 신경망을 이용해서 지능 신호등을 구성하고자 한다.

그림 7.은 표 2.의 입력 데이터를 II장에서 설명한 도로상태에 따른 보정계수를 퍼지화하여서 입력하였을 때 각 10개 교차로의 신호주기를 생성하는 과정을 나타내고 있다. 이 그림의 입력층 구성은 미포화일 때 5개의 교통조건 상태, 근포화일 때 7개의 교통조건상태, 과포화일 때 8개의 교통조건 상태로 20개 분류하였다. 본 신경망의 입력층은 20개의 뉴런으로 구성되어 있으며 은닉층은 10개의 뉴런으로, 출력층은 5개의 뉴런으로 구성되어 있다.

그림 7.의 단계별 수행 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) offsets, weight를 초기화 한다
- (2) input, target의 패턴을 신경망에 제시
- (3) 출력 신경세포들의 에러와 델타를 구해서 은닉층으로 역전파 한다.

$$e_j = t_j - a_j \quad (10)$$

$$\delta_j = a_j (1 - a_j) e_j \quad (11)$$

표 2. 퍼지 신경망 교통신호등 입력 데이터
Table 2. Input data of fuzzy neural traffic light.

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

- (4) 역 전파된 델타로부터 은닉층 신경세포들의 에러와 델타를 구해서 역 전파한다.

$$e_j = \sum_k W_{JK} \delta_K$$

$$\delta_j = a_j (1 - a_j) e_j \quad (12)$$

- (5) 델타 규칙에 의해서 연결가중치를 조절한다.

$$W(\text{new})_{ij} = W(\text{old})_{ij} + \alpha \delta_{iaj} + \beta \Delta w_{ij}(\text{old})$$

$$\text{bias}(\text{new})_{ij} = \text{bias}(\text{old})_{ij} + \alpha \delta_i + \beta \Delta \text{bias}_{ij}(\text{old})$$

- (6) (1)-(5)의 과정을 모든 입력패턴에 대해서 반복한다.
- (7) (6) 과정을 신경망이 완전히 학습될 때까지 반복한다.

따라서 그림 7.은 표 2.와 그림 3.의 신호주기 10개를 연동화 및 갑작스러운 차량의 증가시에 승용차 대기 시간을 최소화 하고 평균주행속도를 개선하는데 필요한 통과차량속도, 대기행렬길이, 교차로 용량, 교차로 조건, 차선공용 보정계수 등을 고려한 신경망 입력 데이터를 설명하고 있다.

IV. 지능형 교통신호등 모의실험

4.1. PLC에 의한 교통신호등 시스템 개발

본 논문에서는 Loop detector에서 감지된 교통 정보에 근거하여 10개 교차로의 최적 신호주기를 산출하였다. 그러나 신경망을 이용한 10개 교차로의 최적 교통 신호주기 모의실험은, 실제 교차로에서는 갑작스러운 교통량의 증가 및 앞 막힘 현상, 교통사고나 전화 공사, 수도관공사 등으로 일부차선을 사용하지 못하는 경우, 직진 및 회전을 공유하는 경우, 마라톤이나 각종 행사 등으로 인해서 횡단보도 및 보행자가 급격히 늘어난 경우 등을 고려하지 않았으므로 승용차 대기시간이 예상외로 길어진다. 또한 갑작스러운 교통사고나 교통량의 증가 시에는 교차로 조건을 정확하게 감지를 못할 경우에는 교차로 용량이 크게 달라지기 때문에 신경망을 이용한 교통 신호주기가 부정확하게 된다.

그러므로 승용차 대기 시간을 최소화하고 예상 외로 발생하는 교통의 문제점을 개선하기 위해서 전처리로 신경망을 이용한 교통신호주기를 생성하고, 후처리로 갑작스러운 교통량의 증가 및 앞 막힘 현상이나, 교통사고나 전화 공사, 수도관공사 등으로 일부차선을 사용하지 못하는 경우, 직진 및 회전을 공유하는 경우, 마라톤이나 각종 행사 등으로 인해서 횡단보도 및 보행자가 급격히 늘어난 경우 등을 고려한 교통신호주기를 생성하기 위해서, 지능적 PLC 시스템인 ISPLC (Intelligent Software Programmable Logic Controller) 시스템을 개발하여 실시간 교통 예측 시스템(Real Time Traffic Forecasting)에 적용하고자 한다.

개발하려는 시스템의 전처리와 후처리 과정은 그림 8.에서 설명한다.

본 논문에서는 LD (Ladder Diagram)라는 IEC1131-3의 표준 PLC언어를 사용하여 다른 IL(Instruction List)로 변형하여 프로그램의 활용성을 높이고 이것을 다시 고급언어인 C 언어로 변형하여 LD나 C언어에 익숙한 프로그래머들에게 모두 편리하게 설계되도록 시스템을 개발하고자 한다. 개발한 ISPLC의 전체적인 시스템 구조는 그림 9.와 같다.

ISPLC는 다음과 같은 여덟개 세부 시스템 모듈을 갖는다: 사용자 인터페이스(User Interface), 사용자 에이전트(User Agent), 사용자 추천 인덱스 라이브러리(User Recommendation Index Library), 컨트롤 에이전트(Control Agent), 컴포넌트 데이터 스토리지(Component Data Storage), 사용자 인포메이션(User Informa-

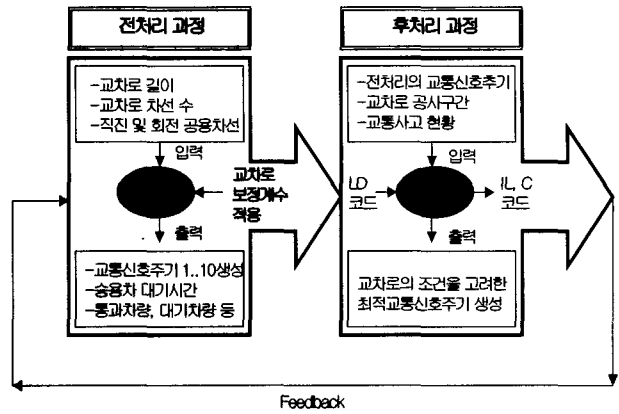


그림 8. 지능형 교통신호등 흐름도
Fig. 8. The flowchart of Intelligent traffic light.

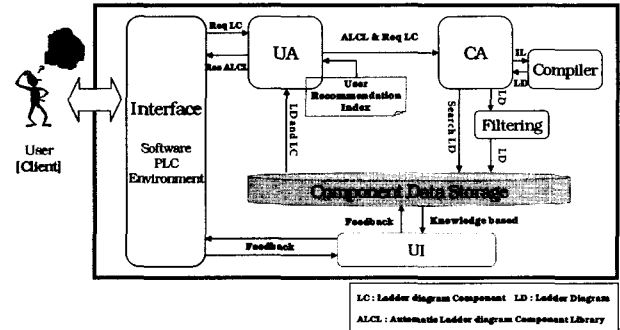


그림 9. ISPLC 전체 시스템 구조
Fig. 9. The overview of ISPLC.

tion), 컴파일러(Compiler), 필터링(Filtering). 사용자 추천 인덱스는 사용자의 프로그램 설계 과정을 패턴화하여 개인화 코드로 컴포넌트 또는 클래스 파일 형태로 저장한다. 또한 이 모듈은 사용자 인터페이스 상에서 프로젝트나 시스템 개발시 이전의 프로그램 설계에 대한 컴포넌트 및 클래스 패턴 히스토리를 가지고서 사용자에게 제안해주는 모듈이다. 컴포넌트 데이터 스토리지는 코드매핑모듈과 코드생성모듈을 갖는다. 코드매핑모듈은 LD, IL, C or Visual C++, 세 언어 중 한 언어를 선택하여 프로그램을 하더라도 자동적으로 각각의 세 타입의 언어에 대한 상호 호환성을 위해 코드를 생성하며 매핑시키며, 코드생성모듈은 LD 언어로 프로그래밍 시 사용자의 인터페이스내에 각각의 LD 모듈에 대한 프로그램이 가능할 수 있도록 소프트웨어 코드 즉, C 또는 Visual C++ 변환하여 생성해 준다. 또한 사용자가 LD 언어를 사용하지 못하더라도, C 언어로 변환되므로 구현 및 프로그램이 가능하다. 사용자 인포메이션은 사용자의 히스토리 데이터, 즉 프로그램 가능한 컴포넌트나 클래스 데이터를 최적화하여 재사용성을 제공하기 위한 모듈이다. 컴파일러는 시스템의 툴 내에서 제공하는 인터프리터로서 파싱 처리가

가능하다. 필터링은 시스템 내에서의 불필요한 코드를 최적화 시켜주는 기능을 제공한다.

사용자가 인터페이스를 통해 사용자 에이전트에게 LD 질의를 요청하면 사용자 에이전트와 컨트롤 에이전트는 질의를 갖고 통신을 한다. 이때, 컨트롤 에이전트는 요청받은 질의를 컴포넌트 데이터 스토리지에서 검색하여 질의에 맞는 컴포넌트를 사용자 에이전트에게 전달한다. 질의에 따라 생성된 컴포넌트를 갖고 사용자 에이전트는 인터페이스를 통해 사용자에게 프로그래밍이 가능할 수 있도록 생성해 주며, 컴포넌트 히스토리를 사용자 추천 인덱스 라이브러리에 저장함으로써 재사용이 가능할 수 있도록 한다.

ISPLC에서 교통 신호 운영자가 인터페이스를 통해 사용자 에이전트에게 최적 신호 주기를 질의를 요청하면 사용자 에이전트와 교통 관제소 컨트롤 에이전트는 10개 교차로의 평균 주행속도와 대기시간 Loop Detector에서 감지된 데이터를 수집하게 된다. 이때, 컨트롤 에이전트는 요청받은 질의를 컴포넌트 데이터 스토리지에서 교통사고로 인한 직진 및 회전차선 공유 및 금지차선 여부, 각종 야구경기나, 행사로 인한 횡단보도 보행자 수 증가여부, 교통사고 및 각종 행사로 인한 평균 주행속도, 예상 통과 차량, 예상 대기차량 등을 고려하여 실제 교차로 상황에 적합한 최적의 교통 신호 현시를 생성한다.

일반적으로 예상 통과 차량이 교차로의 용량이 30-70% 미만인 경우의 미 포화나 근 포화일 경우에는 4현시(남북 직진, 좌회전 우회전, 동서 직진)를 운영하여 최적 교통 신호 주기를 생성할 수 있으나, 예상 통과 차량이 교차로의 용량이 90% 이상인 과포화인 경우에는 교통 신호 주기를 감소해야 되고, 특히 교통사고 및 각종 공사나 행사로 인해서 일부 차선이 폐쇄되면 2현시(남북 직진, 동서 직진)를 운영하여 승용차 대기 시간을 단축해야 한다.

본 논문에서는 실제 교통 조건을 고려하여 교통사고 및 각종 행사로 인한 일부 차선 폐쇄와 좌우 회전 금지, 4현시에서 2현시 변환 등과 같은 실시간 교통 정보를 교통 관제소 컨트롤 에이전트 판단에 따라 10개 교차로의 최적 신호 주기를 생성할 수 있도록 해준다. 새롭게 생성된 규칙은 교통 정보 인덱스 라이브러리에 저장함으로써 미포화, 근포화, 과포화시에 퍼지 규칙을 이용한 교차로 보정 조건, 보행자 수, 횡단보도 유무에 따라서, 어떠한 교차로에서도 재사용이 가능할 수 있도록 한다.

그림 10.과 그림 11은 ISPLC 전체 구조에 포함된 교

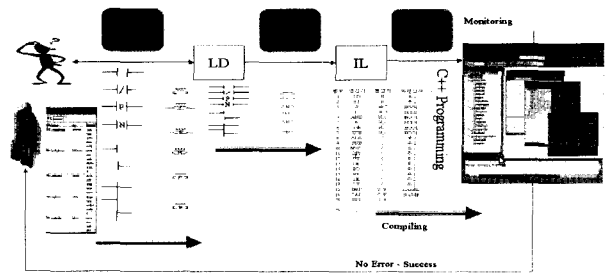
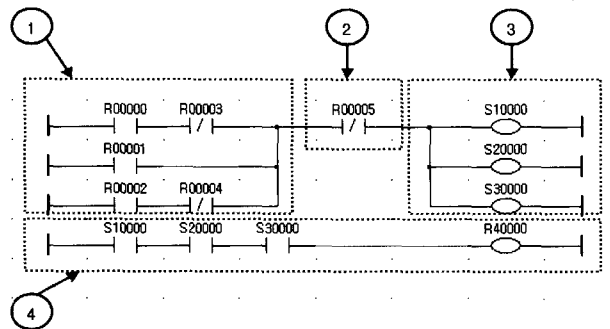
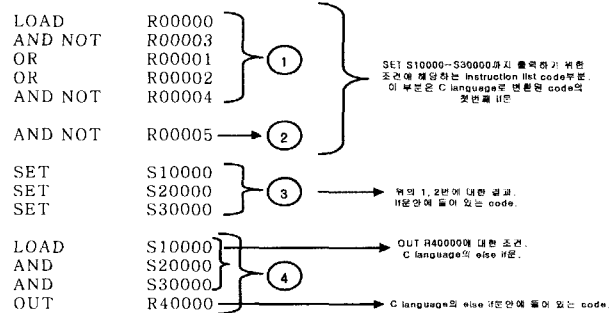


그림 10. ISPLC에서 에이전트들의 관계
Fig. 10. The interrelationship among agents in ISPLC.



(a) 초기상태



(b) IL로 변환된 코드

그림 11. LD->IL 코드 변환 관계
Fig. 11. The relationship of LD->IL code conversion.

통 에이전트들의 관계를 나타낸 그림이다.

교통사고나 각종 행사시에 승용차 대기 시간을 최소로 하는 최적 교통 신호 주기를 생성하기 위해서는, 10개 교차로의 평균 주행속도, 통과 차량, 누적 차량, 출발 지연 시간을 고려하여 근포화와 과포화를 판단하게 된다,

그러면 퍼지 규칙을 고려한 10개 교차로에서 횡단보도, 좌회전 금지 구간, 직진 및 회전 공용 구간 및 보행자를 새로운 입력으로 삼입시켜서 규칙 베이스에 저장하고 새로 변환되거나 입력된 IL 코드를 이러한 규칙 기반 시스템에서 찾아내어서 표준 C 코드로 변환하여 사용자 에이전트가 사용자 추천 모듈에서 최적 교통 신호 주기를 생성하게 된다.

4.2 실시간 교통 제어 시스템 모델링

본 논문에서는 ISPLC를 본 논문에서 제안하는 실시

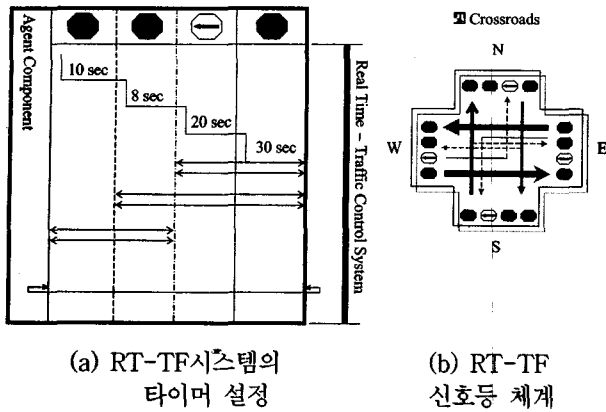


그림 12. RT-TF 시스템 모델링
 (a) The timer setting of RT-TF system
 (b) RT-TF traffic states

Fig. 12. The system modeling of RT-TF system.

간 교통예보 시스템(Real Time-Traffic Forecasting System: RT-TF System)에 적용하여 시뮬레이션 하고자 한다. 이 시뮬레이션 시스템은 실제교차로의 4현시에서 2현시 변환, 좌회전금지, 직진 및 회전차선 공유, 일부 차선 폐쇄, 각종 행사로 인한 보행자 급증 등의 실제세계의 도로상태를 소프트웨어 기반의 환경으로 옮겨 평균 주행속도를 향상시키고 평균 대기시간을 감소하기 위해서 최적교통신호주기를 산출하기 위한 것으로 통과차량이 갑작스럽게 증가했을 경우나, 과포화 상태에 발생하는 앞 막힘 현상을 방지하기 위한 것이다. 본 논문에서는 RT-TF의 하드웨어와 소프트웨어 환경을 모두 컨트롤하기 위해 ISPLC를 적용하여 에이전트의 기능을 추가함으로써 어떠한 실제 교차로에서도 최적의 교통신호주기를 생성할 수 있다. 교통신호주기 운영자는 모든 교차로 조건을 고려한 로드맵 상에서의 교통 신호등 제어에 관한 LD로 프로그래밍시 사용자 에이전트는 LD상의 하나의 모듈을 IL로 매핑시켜 각각의 교통조건에 해당하는 모듈을 Visual C++로 자동 변환시킨다. 이러한 코드변환은 각 모듈을 단계별로 생성하여 자동으로 생성하도록 한다.

RT-TF 시스템의 모델링 구성도는 그림 9와 같다. 그림 12(a)의 제일 왼쪽이 빨간색(적), 다음이 주황색(황), 다음이 좌회전 화살표(좌), 다음이 초록색(청) 등을 나타내고 있다. 각 타이머의 설정시간은 교차로 조건을 고려한 최적 교통 신호주기 출력 값인 직진신호 30초, 좌회전 신호 20초, 경고신호 8초로 가정하였다. 그림 12(b)에서 각 방향별 출력 번호는 W(West)의 청, 좌, 황, 적 순으로 R3.0, R3.1, R3.2, R3.3이며, N(North)의 청, 좌, 황 적 순으로 R3.4, R3.5, R3.6, R3.7이며,

표 3. 교차로 로드 맵 시그널 서브루틴 기능
 Table 3. The signal subroutine functions of cross road map.

서브루틴 번호	출발지 기준 수행내용 (Processing)	출력 번호 (output number)	타이머 On (Timer On)	타이머 Off (Timer Off)
1	E ----- W 직진	R3.0, R3.12	TC3	TC4
2	E ----- W 좌회전	R3.1, R3.13	TC1	TC2
3	E ----- W 경고 (황색등)	R3.2, R3.14	TC2, TC4	TC3, TC5
4	E ----- W 정지 (적색등)	R3.3, R3.15	TC5, TC1	TC8, TC2
5	S ----- N 직진	R3.4, R3.8	TC7	TC8
6	S ----- N 좌회전	R3.5, R3.9	TC5	TC6
7	S ----- N 경고 (황색등)	R3.6, R3.10	TC6, TC8	TC7, TC1
8	S ----- N 정지 (적색등)	R3.7, R3.11	TC1, TC5	TC5, TC6

(E: East, W: West, S: South, N: North)

S(South)의 청, 좌, 황, 적 순으로 R3.8, R3.9, R3.10, R3.11이며, E(East)의 청, 좌, 황, 적 순으로 R3.12, R3.13, R3.14, R3.15를 나타낸다. 그림 12(b)는 RT-TF 신호등의 PLC 출력 접점을 표시한 것이다.

RT-TF 시스템의 신호등 체계의 동작은 다음 8가지로 나눌 수 있다. ① 동쪽에서 남쪽으로, 서쪽에서 북쪽으로 각각 좌회전하도록 좌회전 신호등을 점등한다(남, 북 신호등은 적색등 점등). ② 동쪽과 서쪽 신호등은 모두 황색등을 점등한다(남, 북 신호등은 적색등 점등). ③ 동쪽↔서쪽 직진 신호를 점등한다(남, 북 신호등은 적색등 점등). ④ 남쪽에서 서쪽으로, 북쪽에서 동쪽으로 각각 좌회전하도록 좌회전 신호등을 점등한다(동, 서 신호등은 적색등 점등). ⑤ 남쪽과 북쪽 신호등은 모두 황색등을 점등한다(동, 서 신호등은 적색등 점등). ⑥ 남쪽↔북쪽 직진 신호를 점등한다(동, 서 신호등은 적색등 점등). ⑦ 남쪽과 북쪽 신호등은 모두 황색등을 점등한다(남, 북 신호등은 적색등 점등). ⑧ 수 신호를 위한 황색등 점멸 회로를 작동시킨다.

PLC와 관련하여 에이전트 기반의 컴포넌트를 생성하여 교통사고 및 차선 폐쇄 및 각종 행사에 따른 교차로 변경조건을 8가지로 구현한다. 아래의 표 3.은 위의 8가지 동작을 각각의 교차로 실제상황에서 앞 막힘 현상, 차선 폐쇄, 보행자수 급증 등에 따른 시그널 루틴을 나타낸 것이다.

그림 13.는 RF-TF의 수행알고리즘이며, 그림 14.는 각 신호등의 타임벨런스에 따른 시그널의 상태변화를 나타낸 그림이다.

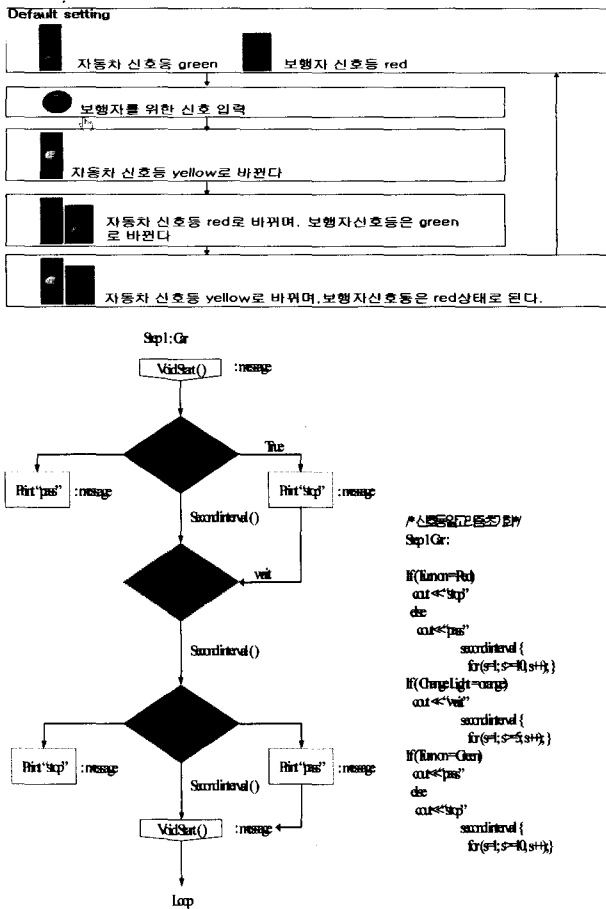


그림 13. RT-TF 시스템의 수행 알고리즘
Fig. 13. The execution algorithm of RT-TF system.

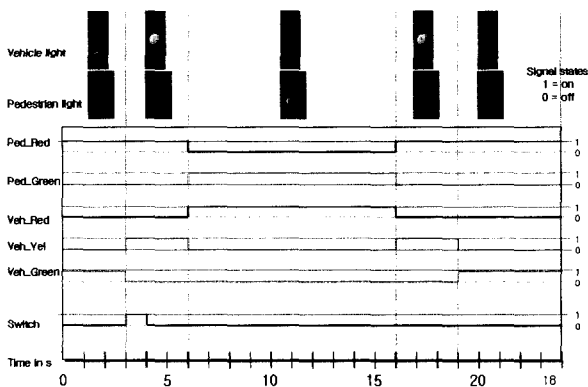


그림 14. 신호등의 타임 밸런스에 따른 각각의 시그널 상태 변이도
Fig. 14. The signal state diagram according to time balance of signal lights.

실제교통 상황에 따라서, 갑작스럽게 교통량이 증가하거나 감소하는 경우, 4현시에서 2현시로 변경하는 경우, 각종 도로 공사나 행사 등으로 인해서 일부 차선이 폐쇄되는 경우에, 교차로 조건에 최적으로 평균주행시간을 변경하여 교통 신호 주기 값을 특정 어드레스 번



그림 15. 에이전트 기반 RT-TF 시스템의 시뮬레이션 과정
Fig. 15. The simulation of RT-TF system based on agents PLC.

표 4. 통과차량속도를 고려한 ISPLC와 기존신호등 TOD 대기시간비교

Table 4. Comparisons of vehicle waiting Time between ISPLC and conventional T.O.D traffic light.

전처리 (퍼지 신경망)		후처리 (에이전트기법 및 ISPLC)			승용차 대기 시간비교			
통과 차량	교차로 길이	교차로 차선수	신호 주기	긴급 차량 교통사고	미포화 (하위)	과포화 (하위)	지능형 PLC	TOD 기존 방식
BIG	상위> 하위	상위> 하위	단축	무	연장	단축	15초	20초
BIG	상위< 하위	상위< 하위	연장	무	연장	단축	13초	18초
BIG	상위< 하위	상위> 하위	정상	무	정상	단축	15초	14초
BIG	상위> 하위	상위> 하위	단축	유	단축	단축	07초	17초
BIG	하위> 상위	하위> 상위	연장	유	단축	단축	08초	15초
SMALL	상위< 하위	상위< 하위	단축	무	단축	단축	07초	09초
SMALL	상위< 하위	상위> 하위	정상	무	정상	단축	11초	14초
SMALL	상위< 하위	상위< 하위	단축	유	정상	단축	18초	29초

지에 저장하는 과정을 설명하고 있다.

표 4에서 보는 것처럼, 승용차 대기 모의실험 결과, TOD 기존신호등은 차량의 많고 적음이나, 교차로의 형태에 관계없이 녹색신호주기를 산출하기 때문에 평균주행속도나 승용차 대기시간을 향상 시킬 수 없다.

그러나, 본 논문에서 제안한 전처리(퍼지신경망) 및 후처리(에이전트 기법 및 ISPLC)은 교차로형태를 퍼지규칙을 이용하여 최적 녹색시간을 산출하였다. 그러나, 아무리 좋은 전자 교통신호등도, 긴급차량진입이나, 교통사고 및 각종 공사 및 갑작스러운 교통 장애가 발생시에는 속수무책이다. 본 논문에서는 이러한 문제점

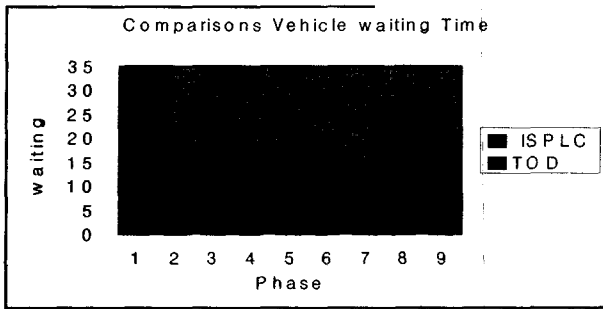


그림 16. 승용차 대기시간 시뮬레이션
Fig. 16. The simulation of vehicle waiting time.

을 해결하기 위해서 교통사고가 발생하면, 후처리로 도로위의 차선을 폐쇄하거나, 과 포화시에 앞막힘 현상이 발생하지 않도록 하였다. 표 4에서 보는 바와 같이 퍼지신경망 및 ISPLC를 사용한 신호등이 TOD 기존 교통신호등보다 과포화 및 미포화일 때에는 승용차 대기시간을 21-36% 이상 단축시킬 수 있었다. 특히 우리나라는 직진차선 및 회전차선 공용구간을 같이 사용하는 경우가 많기 때문에, 다음신호에 어느 차량이 직진 차량인지, 회전차량인지를 정확하게 직진 차량만을 예측하기 어렵다.

뿐만 아니라, 교통사고 및 각종 사고, 긴급차량이 진입할 경우에는 본 논문에서 제안한 ISPLC 기법을 이용하여 차선을 폐쇄할 수 있으므로, 효율적으로 사용할 수 있다.

이러한 알고리즘이 기존의 전자신호등에 도입이 되면, 교통사고 및 출퇴근시에 발생하는 과포화 일 경우에도 승용차 대기시간을 10% 정도는 충분히 개선이 될 수 있음을 확인하였다.

V. 결 론

예측할 수 없는 교통량의 증가로 인해 아무리 잘 설계된 전자신호등도 도로 교통 포화율이 130%이상이 되면 제 역할을 할 수 없다. 뿐만 아니라, 교차로 10개를 연동하여 최적의 교통신호주기를 생성하려면 교차로의 차선수나 교차로의 길이에 의해서 포화교통량이 크게 변하기 때문에 퍼지 규칙을 이용한 교차로 보정이 필요하다. 특히 실제 교차로에서는 횡단보도가 없는 경우와 직진 및 회전 차선의 공유, 좌회전 금지 등의 교차로 특성 때문에 정확한 교통 신호주기 산출은 어려운 실정이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해서 신경망을 이용해서 최적의 교통신호주기를 생성하고 이것을 사용자 에이전트 기법과 실시간 지능형 소프트웨

어 PLC (ISPLC)를 이용하여 후처리로 승용차 대기시간을 최소화하는 최적 신호주기를 생성하고 구현하였다.

본 논문에서 ISPLC를 이용해 구현한 실시간 교통신호주기시스템 (RT-TF)은 교통사고나 각종 행사 및 급격한 차량의 증가하여 일부 차선이 폐쇄된 경우일 때에는 신경망 입력조건에서 부정확한 값을 입력하여 학습율이 떨어지기 때문에, 후처리로 클래스 라이브러리와 에이전트 변환 모듈을 이용하여 교통 상황판단을 재사용 할 수 있도록 하였다.

앞으로 효율적인 교통량 예측 및 제어시스템 개발을 위해서는 교차로 보정계수와 좌회전 금지구간, 직진 및 회전차선 혼용구간, 요일 및 시간대에 따른 교차로 조건 정보를 교통관제소에서 수시로 관리하여, 과포화시에 퍼지 규칙 및 신경망 교차로 조건을 이용한 앞막힘을 예방함으로써 승용차 대기시간을 줄일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

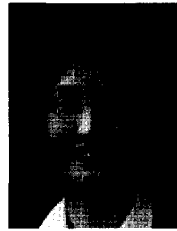
- [1] 이창현, "간선도로의 신호운영체제 개선에 관한 연구", 서울대 환경대학원, 1988.
- [2] 김수철, "도시 간선도로의 교통신호체제 증진방안에 관한연구", 서울대 환경대학원, 1978
- [3] 도로교통안전협회, "대도시 신호등체계의 개선 운영에 관한연구", 1984
- [4] "텔레매틱스 활성화 교통 개선을", 서울경제, 2004.01.28
- [5] "車 막혀 年22조 낭비", 중앙일보, 2004, 01, 04
- [6] C.P.Pappis, E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for 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,p.907-910, Seoul, Korea, 1993.
- [8] R.Hoyer,U.Jumar,"Fuzzy Control of Traffic Lights",Proc.3rd IEEE International Conference Fuzzy Systems, pp.1526-1531,Orlando, U.S.A., 1994.
- [9] L.A. Zadeh, "Fuzzy Set",Information Control, Control, Vol.8, pp.338-353, 1965
- [10] 원태현 외 6인, PLC 제어기술, 제2판, 복두출판사, 2001.
- [11] 박양수 외 2인, FA를 위한 PLC 실습, 복두출판사, 1998.
- [12] 김종부 외 3인, PLC 이론 및 실습, 복두출판사, 2002.
- [13] PLC 이론과 실습, 삼성전자 사내교육 자료.
- [14] Norme Internationale International Standard, CEI IEC 1131-3, Premiere edition, First edition, 1993.

저 자 소 개



홍 유 식(정회원)
 1984년 경희대학교 전자공학과 (학사)
 1989년 뉴욕공과대학교 전산학과 (석사)
 1997년 경희대학교 전자공학과 (박사)

1985년~1987 대한항공(N.Y.지점 근무)
 1989년~1990 삼성전자 종합기술원 연구원
 1991년~현재 상지대학교 전산학과 부교수
 2000년~현재 한국퍼지 및 지능시스템학회 이사
 2004년~현재 대한 전자공학회 협동이사
 2001년~2003 한국 정보과학회 편집위원
 2001년~2003 한국 컴퓨터 교육산업학회 이사, 편집위원
 2004년 ~현재 인터넷 TV학회 이사
 <주관심분야: 퍼지시스템, 전문가시스템, 신경망, 교통제어>



조 영 임(정회원)
 1988년 고려대학교 전산학과 졸업(학사)
 1990년 고려대학교 전산학과 졸업(석사)
 1994년 고려대학교 전산학과 졸업(박사)

1995년~1996 삼성전자 멀티미디어 연구소 선임연구원
 1996년~현재 평택대학교 컴퓨터과학과 교수
 1999년~2000 University of Massachusetts, Dept. of Computer Science, Post-doc.
 2003년~현재 한국퍼지 및 지능시스템학회 이사
 <주관심분야: 인공지능, 뉴로퍼지시스템, 제어시스템>

