■ 論 文 ■

영상기반의 대기행렬길이를 이용한 최적주기 결정모형 개발

Development of a Queue Length Based Optical Length Set Methodology Using Image Detectors

이 철 기
(서울지방경찰청 교통지도부 교통개선기획실장)

오 영 태
(아주대학교 환경·도시공학부 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구배경 및 목적
Ⅱ. 연구내용 및 방법
Ⅲ. 대기행렬길이 산정
1. 포화도와 대기행렬길이의 비교
2. 제어단계별 목표
3. 실시간 신호제어시스템에서의 대기행렬길이 예측 알고리즘
4. 영상검지기 기반의 대기행렬길이 산정 알고리즘
Ⅳ. 최적주기산정 알고리즘
1. 주기산정 단계
Ⅴ. 모의실험을 통한 검증
1. 실시간 모의실험 Simulator의 개요
2. 모의실험 환경
3. 분석결과
Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌

Key Words : cycle length, queue length, signal control, image detector, traffic adaptive control

요 약

본 연구는 공간적 정보를 수집할 수 있는 영상검지기를 이용하여 주어진 대기행렬길이를 기반으로 하는 최적주기 알고리즘을 개발함으로써 교통신호 제어에 대한 새로운 신호계획을 제공한다. 본 연구에서는 교통수요의 공간적인 정보를 획득하는 방안으로서 영상검지기 기반의 대기행렬길이를 사용한다. 전략적 측면에서 다양한 교통상태를 적용하였으며, 주요 결과는 아래와 같다.

1. 영상검지기 기반의 대기행렬길이 계산방안을 제안한다. 이 방법은 한 링크의 상류부와 하류부에 2대의 영상검지기를 설치하여 대기행렬길이를 산출하는 방안이다.
2. 신호제어 변수인 주기 계산모형이 개발된다. 이 방법 역시 영상검지기를 기반으로 하는 대기행렬길이를 사용한다.

Ⅰ. 서론

1. 연구배경 및 목적

서울은 교통혼잡과 체증심화에 따른 경제적 손실의 증대와 도로효율 극대화를 위한 적극적인 신호대응체제가 요구되어, ITS 사업의 일환으로 실시간 신호제어시스템(COSMOS[1]:Cycle Offset Split Model for Seoul)을 1991년부터 1993년까지 3개년 동안 연차사업으로 수행하였다. 이 시스템은 알고리즘 및 모든 제어전략이 루프검지기에 근거를 둔 것으로서 지점정보를 토대로 교통수요를 예측함으로 인한 예측의 한계성과 교차로 기하구조 및 운전행태의 다양성으로 인한 포화도 측정의 한계, 유지관리상의 어려움과 과포화시의 제어에 효율적으로 대응하지 못하는 문제점을 안고 있다. 그러나 전 세계적으로 교통검지기술의 급격한 발달로 인하여 다양한 검지기가 교통신호제어기술에 적용되기에 이르렀다.

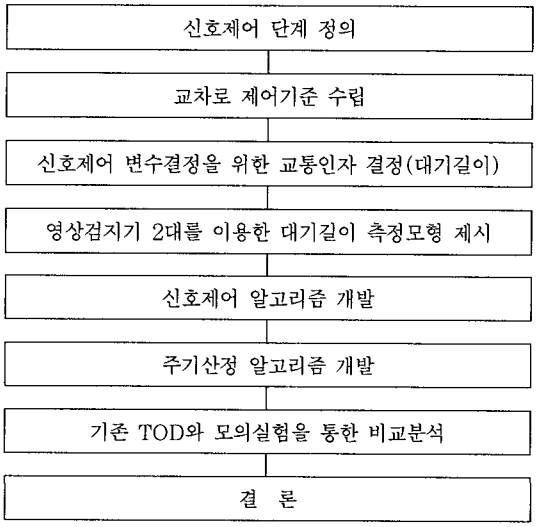
이러한 다양한 교통검지기술의 실용화 추세에 부응하여 도시간선도로의 교통신호제어에서 루프검지기의 단점을 보완 할 수 있는 타 검지기의 검토와 이와 연계한 제어알고리즘 개발 및 전략구축이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이를 위하여 본 연구에서는 루프검지기의 단점을 어느 정도 보완할 수 있는 영상검지기를 토대로 대기행렬길이를 측정하는 알고리즘을 제안하여, 대기행렬길이에 의한 최적주기결정모형을 개발하고자 한다.

Ⅱ. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 영상검지기의 대기행렬길이를 기반으로 한 최적주기결정모형을 개발하고자 각 접근로별로 영상검지기 2대를 이용한 대기행렬길이를 측정하는 알고리즘을 제시하며, 독립교차로를 대상으로 한 모의실험을 통한 검정을 실시하였다. 본 연구에서 다루게 될 구체적 연구내용은 다음과 같다.

첫째, 포화도와 대기행렬길이의 관계
둘째, 신호제어 단계의 정의
셋째, 제어단계별 목표
넷째, 영상검지기를 이용한 대기행렬길이 산정 알고리즘 제시
다섯째, 대기행렬길이를 이용한 최적주기 결정 모형 정립
여섯째, 독립교차로상의 모의실험을 통한 검증

본 연구는 교차로 각 접근로의 유·출입부에 각각 1대씩의 영상검지기를 설치하여 대기행렬길이를 측정하는 모형을 제시하고, 이를 토대로 측정된 대기행렬길이가 정확하다는 가정하에 최적주기 알고리즘을 개발하여 기존 TOD(Time of Day)제어방식과 모의실험을 통한 비교검정을 실시하였다. 연구수행을 위한 흐름도는 〈그림 1〉과 같다.



〈그림 1〉 연구수행 흐름도

Ⅲ. 대기행렬길이 산정

1. 포화도와 대기행렬길이의 비교

교차로상에서 각각의 목적지를 가지고 운행하는 차량의 제어에 필요한 주기, 현시, 옵셋은 해당 교차로를 통과하고자 하는 접근로상의 수요교통량에 좌우된다. 그러나 불행가게도 수요교통량을 현장에서 실시간으로 얻을 수 있는 방법론에서는 여러 가지 제약이

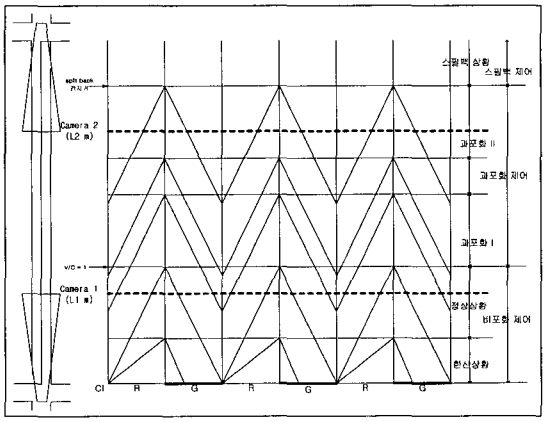
1) 2001년 5월 서울시 신신호제어시스템을 실시간 신호제어시스템으로 명명하였으며, 영명으로는 COSMOS(Cycle, Offset, Split Model for Seoul)로 결정함. 또한 연도에 따라 버전을 부여하며, 금년은 COSMOS 2000 버전으로 명명됨.

따른다. 특히 현재 서울시 강남 및 서초지구에서 운영되는 실시간신호제어의 경우에 있어서도 혼잡도를 나타내는 변수로서 포화도(DS)를 사용하고 있다. 그러나 이 포화도는 신호제어결정변수를 결정하는데 있어서 몇 가지 모순점을 안고 있기에 본 연구에서는 이러한 포화도의 문제점들을 해결 할 수 있는 교통인자를 다음과 같은 근거에 의해서 제안하고자 한다.

- 포화도는 지점정보를 토대로한 예측치임에 비하여 영상검지기로 대기길이를 어느 정도 실측이 가능하게 되었다는 점이다.
- 포화도는 수요교통량을 적절히 대변하지 못하는 반면에 대기행렬길이는 수요교통량을 개략적으로 반영 할 수 있다는 점이다.
- 포화도는 교차로의 기하구조 및 운전자의 교통행태에 민감하게 영향을 받지만 대기행렬길이는 실측에 근거를 두었기 때문에 거의 영향을 받지 않는다는 것이다.
- 포화도는 과포화 상황을 적절히 반영하지 못하는 반면에 대기행렬길이는 과포화 상황을 개략적으로 반영 할 수 있다는 점이다.
- 루프에 의한 포화도는 루프의 설치공사로 인한 차로통제가 절대적으로 필요한 반면 영상에 의한 대기행렬길이 수집은 영상검지기 공사시 부분적인 차로통제내지는 전혀 통제가 필요치 않을 수도 있다.
- 루프는 각종 공사로 인한 단선 및 아스팔트 덧씌우기 등으로 인한 유지관리가 영상에 비하여 어렵다는 것이다. 그러나 영상검지기는 야간 및 악천후 상황 하에서 수집자료의 정확도 문제 또는 방대한 실시간 자료의 처리문제에 있어서는 아직도 해결해야 할 과제가 남아 있지만 급격한 기술의 발달로 멀지 않은 장래에 해결될 수 있다고 판단되며, 본 연구에서는 대기행렬길이자료가 정확하다는 전제 하에 알고리즘을 구축하였기 때문에 영상자료의 정확도는 차후 연구에서 반드시 필요하다고 하겠다.

2. 제어단계별 목표

본 알고리즘에서 신호제어변수들은 해당 링크상의 대기길이에 따라 목표를 달리하고 있다. 또한, 대기길이는 접근로당 교통상황이 다르게 전개될 수 있으므로 (〈그림 2〉 참조, X축 : 시간, Y축 : 대기길이) 각 베리어에 포함되는 접근로 상황 중 심각한 교통상황간의 조합에 따라 〈표 1〉과 같은 기준으로 교통상황을 설정하고 이를 교차로의 제어목표로 삼아 제어에 진입한다. 교차로 제어환경의 변환은 연속된 3주기가 같은 패턴의 교통상황으로 제공되는 경우에 이루어진다. 일단 교차로 차원에서의 교통상황이 규정되면 그에 따른 신호변수산정의 목표가 〈표 1〉과 〈표 2〉에서 보여주는 바와 같이 설정된다.



〈그림 2〉 접근로별 교통상황 구분도

〈표 1〉 교차로 교통상황 정의 및 제어목표

상 황		정 의	목 표
비포화 제어	한산 상황	한 현시내에 대기차량이 모두 방출되고 여유녹색시간이 존재하는 상황	차량의 안전한 통행
	정상 상황	한산상황으로부터 한 현시시간에 맞게 대기차량이 모두 방출되는 상황	지체 최소화 및 연동의 최적화
과포화 제어	과포화 I	한 주기내에 대기차량이 모두 방출되지 않는 상황으로부터 녹색시간 종결후 매 주기마다 대기의 끝단이 정지선 영상검지기에 관찰되는 경우까지의 대기길이	최대교통량 유출제어 및 과포화II상황으로의 전개 억제
	과포화 II	정지선 영상검지기내에 주기전체에 걸쳐 대기의 끝단이 관찰되지는 않으나 대기차량의 끝단이 스필백 상황까지는 전개되지 않은 상태	각 방향 스토리지의 관리를 통한 스필백 상황 억제
스필백 제어	스필백 상황	상류부 검지기의 스필백예방검지영역을 특정 차량이 일정시간(약 5초)이상 점유하고 있는 상황	Equity Offset 또는 Reverse Offset 적용

〈표 2〉 제어 단계별 신호변수 설정기준

상 황		주 기	현 시	옵 셋
비포화 제어	한산 상황	접근로별 대기길이에 따른 유동성 있는 주기길이 산정	대기길이의 비율에 따른 현시할당으로 지체시간 감소	패턴선택
	정상 상황			
과포화 제어	과포화 I	주기길이를 증가하기 쉽게 감소하기 어렵게하여 정상상황으로의 유도	스토리지 관리를 통한 스필백상황 방지	
	과포화 II			
스필백 제어	스필백 상황			계산된 옵셋값 적용

3. 실시간 신호제어시스템에서의 대기행렬길이 예측 알고리즘

1) 개요

대기행렬길이 예측 알고리즘은 상류부에 설치되는 대기행렬 예측용 검지기와 앞막힘 예방용 검지기로부터 기초자료를 제공받아 상류부 검지기로부터 접근되는 거리를 예측하여 지역컴퓨터에 예측결과를 전송한다. 산출원리는 밀도와 속도 관계식에서 속도는 검지기에서 수집되는 점유시간으로, 밀도는 혼잡상황을 나타내는 정체도로 대체하여 각 지점의 주기당 점유시간을 속도로 환산하여 정체도를 구하고 임계 정체도에 해당하는 지점을 계산한다.

2) 대기행렬길이 산출

(1) 정체도 산출

다음의 식을 이용하여 매 차량이 통과할 때마다 각 검지기별로 주기별 평균속도를 구하여 정체도를 산출하되 각 검지기 사이의 정체도는 주어진 S1과 S2를 이용하여 선형으로 처리한다.

$$DOC(i) = 1 - \frac{V(i) - S_1}{S_2 - S_1}$$

여기서,
DOC(i) : 검지기 정체도(0 - 1.0)
V(i) : 검지기별 속도
S1 : 정체도 1.0과 대응되는 속도
S2 : 정체도 0과 대응되는 속도

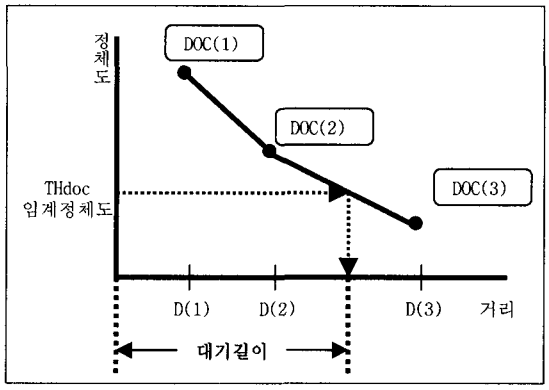
(2) 대기길이 산출

산출된 정체도를 바탕으로 임계정체도를 포함하는 검지기 구간을 결정하고 검지기 구간내에서 대기길이를 다음 식에 의하여 구한다. 구해진 대기길이와 과거 2주기의 대기길이를 이동평균하여 금번주기의 대기길이를 구한다.

$$\text{대기길이} = D(i-1) + \frac{[(D(i) - D(i-1)] \times [THdoc - DOC(i-1)]}{[DOC(i) - DOC(i-1)]}$$

$$CLOC(i) = LOC(i) \times f0 + LOC(i-1) \times f1 + LOC(i-2) \times f2$$

여기서,
CLOC(i) : 최종 조정된 금번주기의 대기길이(m)
LOC(i) : I주기의 대기길이(m)
fi : i주기의 가중치
THdoc : 임계정체도
D(i) : 검지기 설치위치(m)



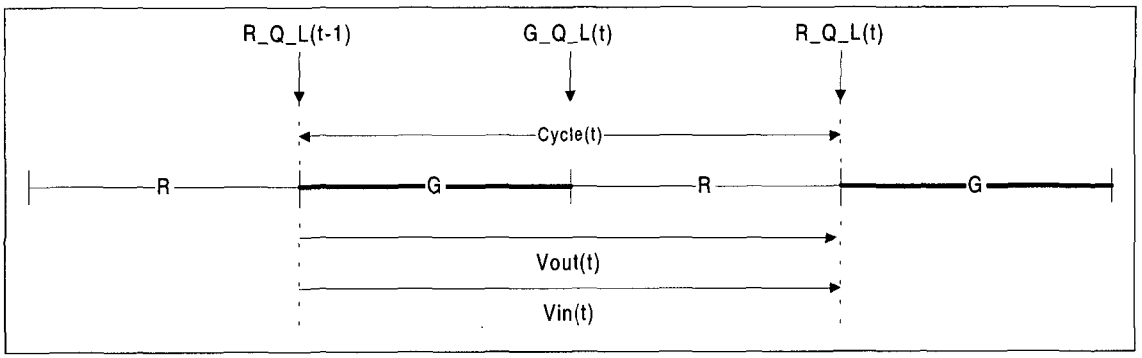
〈그림 3〉 정체도와 대기길이 관계

4. 영상검지기 기반의 대기행렬길이 산정 알고리즘

1) 대기행렬길이 추정

현재 대기행렬길이=이전 대기행렬길이+[(상류부로부터 유입된 차량수-이전 현시에 인접링크로 방출된 차량수)/차로수×평균차두거리]

위의 기본개념을 수식으로 표현하면 다음과 같다.



〈그림 4〉 입력자료 및 대기길이 판정 시점

R_Q_L(0) = {초기값 + [Vin(0)/Ln(in) - Vout(0)/Ln(out)] × 평균차두거리}
R_Q_L(1) = {R_Q_L(0) + [Vin(1)/Ln(in) - Vout(1)/Ln(out)] × 평균차두거리}
R_Q_L(2) = {R_Q_L(1) + [Vin(2)/Ln(in) - Vout(2)/Ln(out)] × 평균차두거리}
R_Q_L(t) = {R_Q_L(t-1) + [Vin(t)/Ln(in) - Vout(t)/Ln(out)] × 평균차두거리}

여기서,

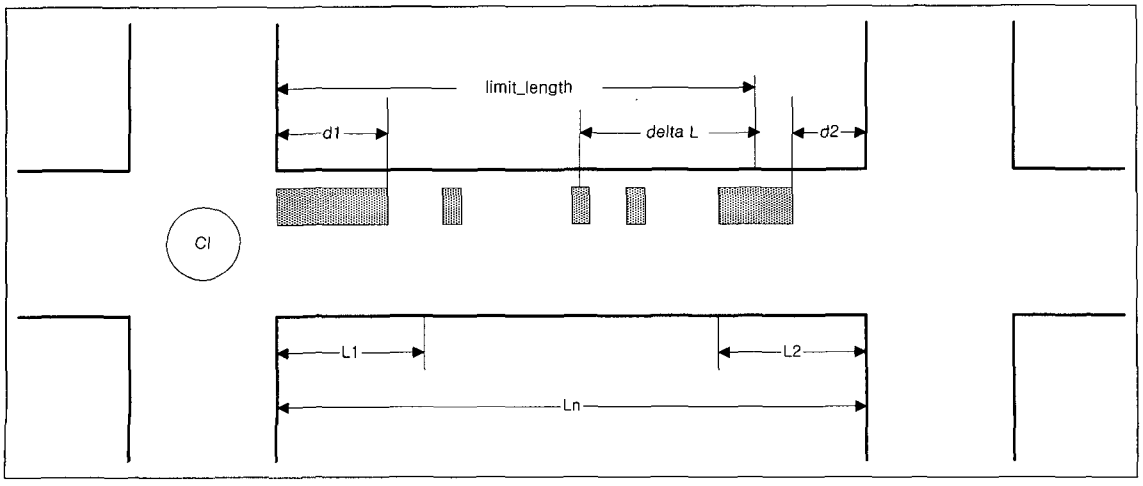
R_Q_L(t) : t주기의 적색시간 종료후 대기행렬 길이
Vin : 상류부로부터 C.I.로 유입되는 교통량
Vout : C.I.로부터 인접 링크로 방출되는 교통량을 차로수로 나눈 값
Ln(in) : 유입부 차로수
Ln(out) : 유출부 차로수

대기행렬길이 판정에 사용되는 주기별 입력변수들의 입력 시점이 〈그림 4〉에 보여진다.

2) 대기행렬길이 추정치에 대한 보완방안

위에서 설명된 대기행렬길이 추정식에 의하여 산출되어지는 대기행렬길이는 접근로내의 유·출입에 대한 영향, 횡단보도로 인한 영향, 평균 차두거리에 대한 보정이 고려되지 않은 바, 다음과 같은 다섯가지의 경우를 고려하여 매 주기별로 대기행렬길이를 보정하게 된다. 수식상에 나타나는 기호는 〈그림 5〉에 설명된다.

[경우 1] 하류부 영상검지기상에 대기행렬의 끝단이 보이지 않고 상류부 영상검지기상에 대기행렬이 존재하는 경우



〈그림 5〉 영상검지기를 이용한 대기길이 산정 개념도

- L1+(L2-d2) < R_Q_L < (Ln-d2)
  : R_Q_L 값 인정
- R_Q_L <= L1+(L2-d2)일 경우
  : R_Q_L = L1+(L2-d2)
- (Ln-d2) <= R_Q_L일 경우 : R_Q_L=Ln -d2

〔경우 2〕 하류부 영상검지기상에 대기행렬의 끝단이 보이지 않으나 상류부 영상검지기상에 대기행렬이 존재하지 않는 경우

- L1 <= R_Q_L < (Ln-L2) : R_Q_L 값 인정
- R_Q_L < L1일 경우 : R_Q_L=L1
- (Ln-L2) < R_Q_L일 경우 : R_Q_L=(Ln-L2)

〔경우 3〕 하류부 영상검지기상에 대기행렬의 끝단이 보이고 상류부 영상검지기 내에서도 대기행렬이 존재하는 경우(횡단보도로 인한 또는 세가로 출입으로 인한 간섭 현상)

- d1+(L2-d2)<R_Q_L<(Ln-L1-L2)+d1+(L2-d2) : R_Q_L 값 인정
- d1+(L2-d2) >= R_Q_L일 경우
  : R_Q_L=d1+(L2-d2)
- R_Q_L>(Ln-L1-L2)+d1+(L2-d2)일 경우 : R_Q_L=(Ln-L1-L2)+d1+(L2-d2)

〔경우 4〕 하류부 영상검지기상에 대기행렬의 끝단이 보이고 상류부 영상검지기상에서는 대기행렬이 존재하지 않는 경우

- d1 < R_Q_L < (Ln-L1-L2)+d1 :
  R_Q_L 값 인정
- d1 > R_Q_L일 경우 : R_Q_L=d1
- R_Q_L > (Ln-L1-L2)+d1일 경우 :
  R_Q_L=(Ln-L1-L2)+d1

〔경우 5〕 t주기에서의 녹색시간 종료후 일정기간 경과시 대기행렬의 말단이 하류부 영상검지기의 시거에 관찰되는 경우

$$R_Q_L(t-1)=G_Q_L(t)+Vout(g)\times 평균차량길이$$

여기서,

G_Q_L(t) : t시점의 녹색시간 종료로부터 단위시간 대기 후 대기행렬길이 실측치

R_Q_L(t) : t시점의 적색시간 종료 후 대기행렬길이 추정치

일정시간 경과 : 적색시간 종료 후 대기형성을 위한 시간(운영자 설정값)

Vout(g) : 녹색시간 중에 해당교차로를 통과한 차량

여기서,

d1 : 하류부 영상검지기 내의 대기행렬길이

d2 : 상류부 영상검지기 가시거리 - 상류부 영상검지기내의 대기행렬길이

L1 : 상류부 영상검지기 가시거리

L2 : 하류부 영상검지기 가시거리

3) 신호변수산정에 사용되는 최종 대기행렬길이 산출

위의 과정을 거친 각 R_Q_L은 현재주기의 R_Q_L 값과 이전 두 주기의 R_Q_L값을 가중 평균한 값에 타 차로들에 대한 임계차로 이용율을 곱한 후 신호 제어에 사용되는 Q_L값으로 변환된다.

$$Q_L(t)=\{AT\times R_Q_L(t)+BT\times R_Q_L(t-1)+CT\times R_Q_L(t-2)\}\times \alpha$$

여기서,

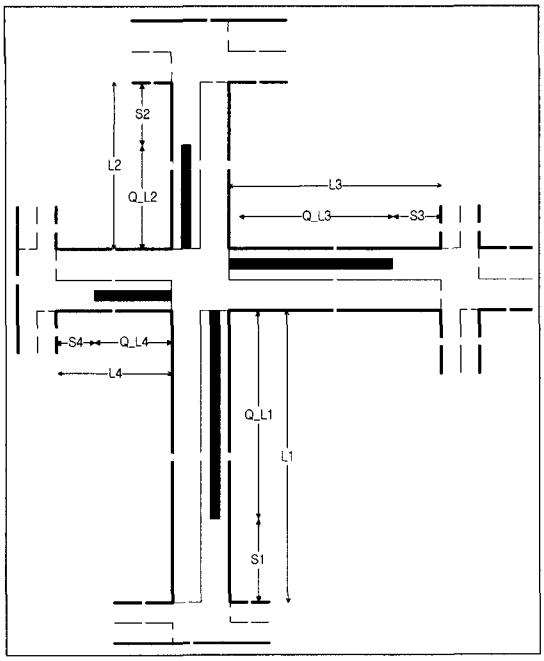
AT, BT, CT : Q_L 산출시 사용되는 가중치 (AT+BT+CT=1)

α : 임계차로 이용률

Ⅳ. 최적 주기 산정 알고리즘

본 연구에서 최적주기 산정 알고리즘을 구축하기 위하여 신호제어변수 산정을 위한 도로상의 대기행렬길이, 링크 길이, 스토리지는 〈그림 6〉에서 보여지는 외관을 따른다.

주기산정은 한산 및 정상상황에서는 해당 상황에서의 대기차량수에 따라 균등한 증감비율로 시간이 할당되지만 과포화 I 이상의 상황에서는 대기차량의 일시적인 감소가 전체추이를 반영하는 것으로 보기에는 위험성이 크다는 전제아래, 과포화 I 상황으로 진입하기 시작하면 주기길이의 증가는 쉽고 감소는 어렵게 하여 정상 상황으로의 복구에 노력한다.



〈그림 6〉 신호제어전략구축을 위한 기하구조 및 교통상황 변수 정의

1. 주기산정 단계

〔단계 1〕 각 접근로상의 대기행렬길이(Q_L1(t), Q_L2(t), Q_L3(t), Q_L4(t))를 입력받는다.

〔단계 2〕 한 베리어내에 포함되는 축들의 가장 긴 대기행렬길이를 각각 구한다

$MAX_Q1 = Max\{Q_L1(t), Q_L2(t)\}$

$MAX_Q2 = Max\{Q_L3(t), Q_L4(t)\}$

〔단계 3〕 단계 2에서 구해진 각각의 대기행렬길이를 평균 차두길이로 나누어 차량수를 구한 후 차두시간을 곱한다.

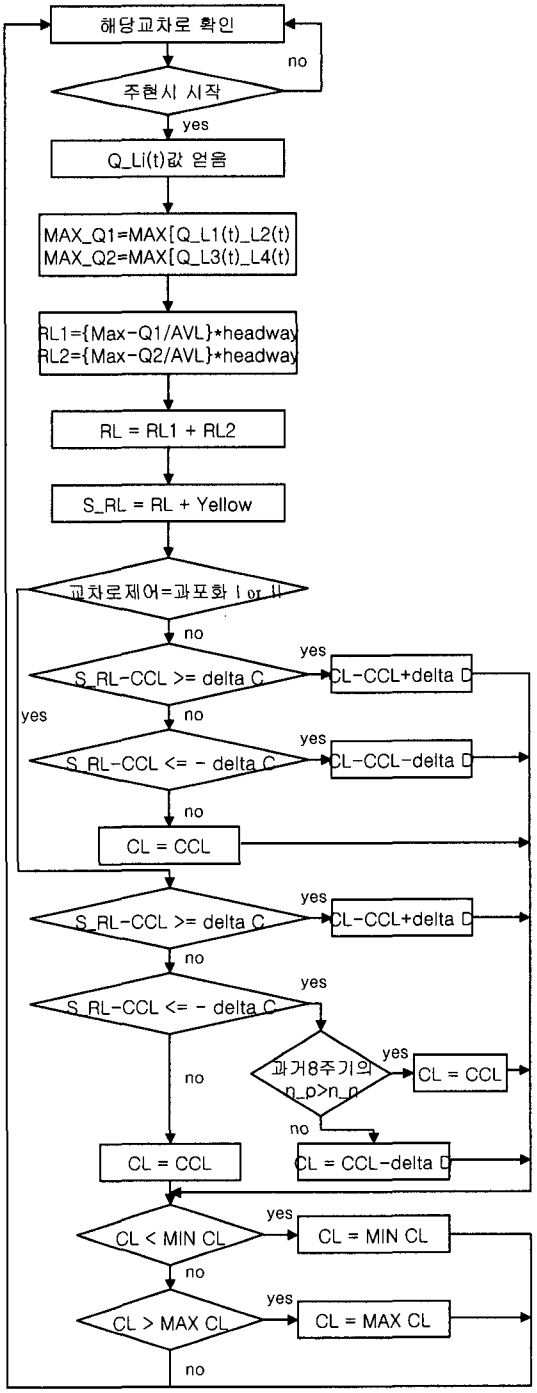
$RL1 = \{MAX_Q1/AVL\} \times h$

$RL2 = \{MAX_Q2/AVL\} \times h$

〔단계 4〕 이 값들을 합산한다. 이 합산 값이 현재 교차로에 놓인 대기행렬길이가 해제되는데 소요되는 요구시간(RL)이 된다.

$RL = RL1 + RL2$

〔단계 5〕 S_RL=RL+yellow을 구한 후, 교차로 교통상황이 비포화인 경우 단계 6으로, 과포화 I 이상의 상황인 경우 단계 7로 진행한다.



〈그림 7〉 주기산정 흐름도

〔단계 6〕 현재의 주기길이(CCL)와 구해진 요구주기시간(S_RL)과의 차를 비교하여,

$-\Delta C \leq (S_RL - CCL) \leq \Delta C$ 이면 $CL = CCL$
$(S_RL - CCL) \geq \Delta C$ 이면 $CL = CCL + \Delta D$
$(S_RL - CCL) \leq -\Delta C$ 이면 $CL = CCL - \Delta D$

여기서, ΔC 및 주기증감분 ΔD는 운영자가 조절할 수 있다. 단계 8.로 진행

〔단계 7〕 현재의 주기길이(CCL)와 구해진 요구주기 시간(RL)과의 차를 비교하여,
- $\Delta C \leq (S_RL - CCL) \leq \Delta C$ 이면 $CL = CCL$

$(S_RL - CCL) \geq \Delta C$ 이면 $CL = CCL + \Delta D$로 설정되며, $(S_RL - CCL) \leq -\Delta C$ 이고 이전 8주기의 S_RL의 증가한 횟수와 감소한 횟수, 그리고 이전주기를 그대로 사용한 횟수를 산출하여 증가한 횟수가 감소한 횟수보다 많을 경우 $CL = CCL$로 설정하여 이전주기를 그대로 사용하고, 작거나 같을 경우에는 $CL = CCL - \Delta D$로 설정하여 사용하게 된다. 여기에서 8주기를 택한 이유는 동일한 교통류 특성을 유지하는 최대시간(즉 첨두 15분 이내에서는 교통조건이 불변)인 15분을 기준으로 하여 한 주기길이를 약 2분으로 가정하여 산정하였다.

〔단계 8〕 최소주기 및 최대주기 조건인 Min CL ≤ CL ≤ Max CL을 만족시킨다.

V. 모의실험을 통한 검증

1. 실시간 모의실험 Simulator의 개요

1) 적용성 검토

대기길이를 이용한 실시간 신호제어 알고리즘의 효율성 검증을 위해서는 개별 차량의 행태를 모의실험 할 수 있는 미시적 모의실험 모형(Microscopic simulation model)을 적용하는 것이 바람직하다. 기존 NETSIM 등과 같은 모형이 대표적인 미시적 모형으로서 그 적용성이 입증된 바 있으나 이 모형은 정주기와 NEMA 감응제어만을 수용하였기 때문에 본 제안 신호제어 알고리즘을 적용 평가할 수 없도록 되어있다. 따라서 본 연구에서는 신호변수산정 부분을 재조정하며 그에 따른 MOE를 평가하기 위하여 본 논문에서 제안한 실시간 신호제어 알고리즘 평가용으로 TRACSIM이라는 모의실험기를 사용하였다.

TRACSIM 모형은 도시부 교통류 분석을 위한 모의실험모형으로서 미시적 모형을 채택하였으며, 모의실험 구현방법은 이산사건(Discrete-event)에 따른 고정시간간격(Fixed time increment) 방식이다. 개발된 모의실험 모형의 고려대상 요소는 다음과 같다.

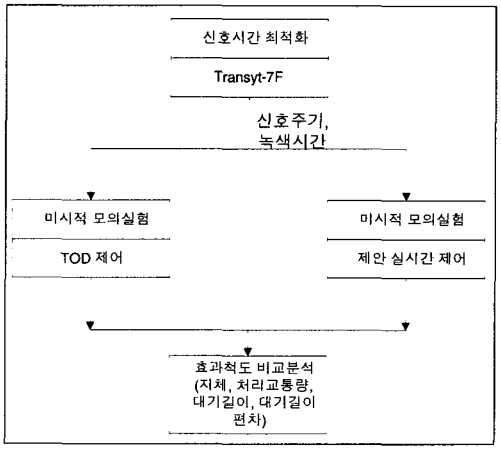
- 회전교통량, 대형차량 혼입율
- 신호제어변수(주기, 녹색시간비, 연동값)
- 신호현시순서(Dual/Sigle Ring)
- 신호시간 관리 방법(고정 및 TOD, 교통대응)
- 차로수, 포켓길이, 차로용도

2) 검증실험 절차

모의 실험 환경 및 비교대상별 조건이 충족되면 다음과 같은 절차에 따라 모델별 MOE에 대한 검증을 수행한다.

- 각 V/C 시나리오별로 T7F를 이용하여 신호시간 최적화 후 최적 신호주기를 도출
- 최적화된 신호계획 자료를 입력으로 V/C별 TOD 제어와 제안 제어알고리즘으로 모의실험 실시
- TOD제어의 경우 모의실험기간동안 신호변수의 변경은 배제하였으며, 제안 알고리즘의 경우 계속적인 갱신을 이룸
- 위의 절차를 5회 실시하여 V/C별 TOD와 제안 모델에서 생성된 효과척도 산출
- V/C별 효과척도 비교 분석

위 절차가 〈그림 8〉에서 보여진다.



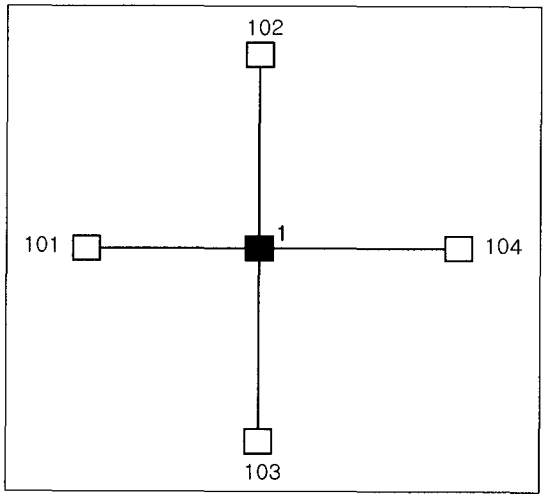
〈그림 8〉 모의실험 절차

2. 모의실험 환경

1) 대상가로망

(1) 가로망 기하구조

본 모의실험에서 채택하고자 하는 교차로는 가상의 4지 교차로로서 각 접근로는 좌회전 1차로, 직진 2차로의 총 3차로으로 구성되어 있다. 구배는 "0"으로 설정되어 있으며 차로폭이나 인접차량에 의한 "측면 마찰은 없다"는 이상적인 상황을 가정하였다.



〈그림 9〉 가로망 기하구조

(2) 기하구조 데이터

〈표 3〉에 각 접근로별 차로수 및 거리가 명시되어 있다. 대상교차로는 NODE 1로 설정되어 있으며 그에 따라 본 모의실험상에서의 교통흐름은 1번 Node로 운행하는 차량을 대상으로 하였다.

〈표 3〉 기하구조 데이터

FROM NODE	TO NODE	방향	차로수	거리
101	1	WB	3	500
102	1	NB	3	500
103	1	SB	3	500
104	1	EB	3	625

(3) 신호현시 데이터 체계

신호현시체계는 Single Ring, Dual Ring으로 크게 나눌 수 있으며, 각각에 대한 다양한 신호현시설정이 가능하다. 본 모의실험에서는 그 중 Dual Ring 체계 내에서의 분리신호 중 하나를 택하며 기본적인 신호현시데이터 체계로 설정하였다.

〈표 4〉 신호현시 데이터 체계

교차로 번 호	현시-1	현시-2	현시-3	현시-4
1				

(4) V/C별 접근로 교통량

여기서 언급되는 V/C는 해당 접근로상에서 최대 방출 가능한 차량수를 용량(C)으로 두었을 경우 실제 통과하는 시간당 교통량(V)에 대한 비를 나타낸다. 즉, V/C가 1인 경우의 교통량이 2,295대라고 설정될 경우 V/C가 0.5라고 하는 것은 C/2의 교통량이 해당 접근로에 유입된다는 것을 의미한다.

〈표 5〉 V/C별 접근로 교통량

V/C	교통량(vph)	비 고
0.5	1,148	
0.6	1,377	
0.7	1,607	
0.8	1,836	
0.9	2,066	
1.0	2,995	

※ 접근로 용량=(접근로 녹색시간-접근로 황색시간)/포화차두시간×3600/신호주기×차로수

(5) 최적화 신호시간 데이터

V/C가 증가함에 따른 입력 교통량을 변화시키면서 T7F를 이용하여 최적화시킨 결과이다. 현시순서는 〈표 6〉에 따른다.

〈표 6〉 최적화 신호시간 데이터

V/C	주기	녹 색 시 간			
		현시-1	현시-2	현시-3	현시-4
0.5	60	25	25	25	25
0.6	65	25	27	25	23
0.7	75	24	28	23	25
0.8	95	24	32	16	28
0.9	125	20	36	12	32
1.0	130	15	39	12	34

2) 시나리오

- TOD제어와 제안 제어방법을 V/C별로 분석(동일 V/C에 대해 같은 BASE SEED선택)
- 분석시간 : 모델별 1회 30분씩
- 분석횟수 : 모델별 V/C별 5회

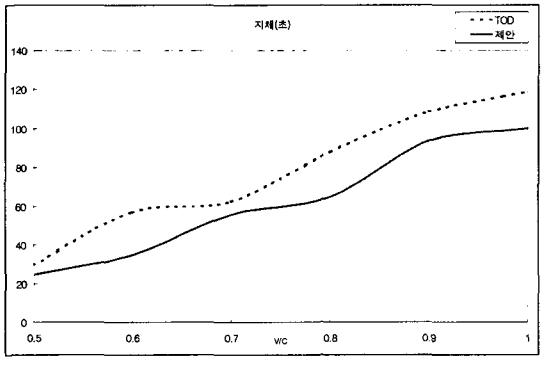
3. 분석결과

1) 평균정지 지체시간

평균정지 지체시간은 본 모의실험기상에서 접근로별 차로별 각 차량이 경험하게 되는 정지시간의 합을 차량수로 나눈 값을 의미한다. 〈표 7〉에 나타나듯이 본 모형식을 사용하여 교차로를 제어하였을 경우 TOD에 의한 제어에 비해 전체적으로 지체시간이 평균 20.5% 감소하는 것을 알 수 있다.

〈표 7〉 모형간 지체시간 비교

V/C	평균정지 지체시간(초/차량)		
	TOD	본 모형식	개선율(%)
0.5	29.45	24.51	16.8
0.6	57.1	34.69	39.2
0.7	62.53	55.76	10.8
0.8	87.94	64.58	26.6
0.9	108.7	93.56	13.9
1	118.8	100.1	15.8
평균			20.5



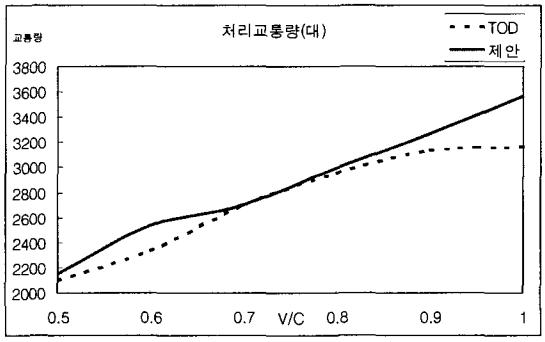
〈그림 10〉 모형간 지체시간 비교

2) 처리교통량

처리교통량은 분석기간내 해당 정지선을 통과하는 차량수의 합을 의미한다. 〈표 8〉에서 나타나듯이

〈표 8〉 모형간 처리교통량 비교

V/C	처리교통량		
	TOD	본 모형식	개선율(%)
0.5	2097	2153	2.7
0.6	2338	2540	8.6
0.7	2702	2705	0.1
0.8	2957	2997	1.4
0.9	3139	3266	4.0
1	3171	3567	12.5
평균			4.9



〈그림 11〉 모형간 처리교통량 비교

V/C의 모든 값에 대하여 제안된 모형이 TOD에 의해 운영되는 경우보다 처리교통량을 평균 4.9% 증가시킴을 알 수 있다. 특히 V/C가 0.7 미만과 0.8이상에서 많은 개선을 보이고 있는데 이는 한산상황과 포화상태에서 제안된 모형이 TOD에 비해 우수함을 의미한다.

3) 대기차량수

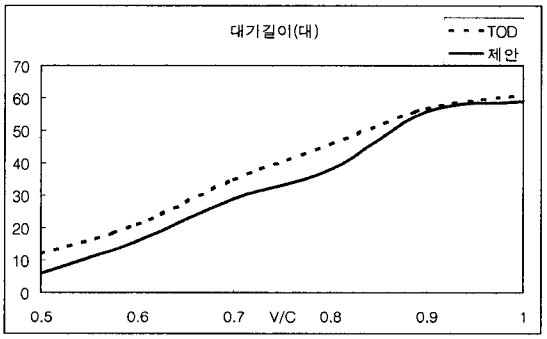
대기차량수는 네 접근로상에 동등한 V/C의 교통량이 유입할 경우 녹색현시 시작시점에 정지선상에 대기하고 있는 차량수의 평균을 나타낸다. 〈표 9〉에서 보여지듯이 0.9이하의 교통상황에서 전체적으로 TOD로 운영되는 상황보다 일정수준 비슷한 감소 추세를 보이고 있다. 평균 18.9%의 감소율을 보이고 있다.

4) 접근로별 대기길이 표준편차

접근로간 대기길이 표준편차란 접근로별 대기길이의 차가 어느정도 균등한 상황에 이르는가 즉, 대기길이의 비에 따른 신호현시가 할당되고 있는가를 나타내는 지표이다. 〈표 10〉에서 보듯이 V/C 0.5-0.8에서의 개선율은 유사하며 0.8에서 가장 좋은 개선율을

〈표 9〉 모형간 대기차량수 비교

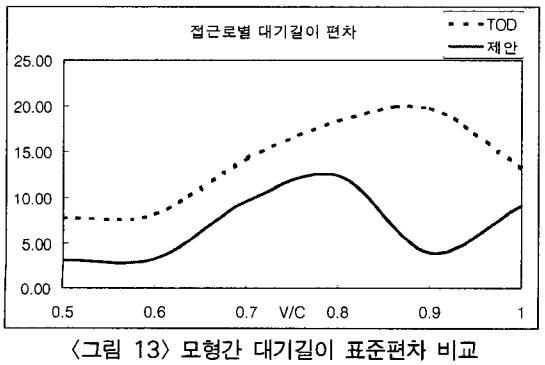
V/C	대기차량수		
	TOD	본 모형식	개선율(%)
0.5	12	6	50
0.6	21	16	23.8
0.7	35	29	17.1
0.8	46	38	17.4
0.9	57	56	1.8
1	61	59	3.3
평균			18.9



〈그림 12〉 모형간 대기차량수 비교

〈표 10〉 모형간 대기길이 표준편차 비교

V/C	접근로별 대기길이 표준편차		
	TOD	본 모형식	개선율(%)
0.5	7.89	3.10	60.8
0.6	8.22	3.30	59.8
0.7	14.31	9.64	32.6
0.8	18.42	12.40	32.7
0.9	19.82	4.04	79.6
1	13.20	9.11	31.0
평균			49.4



〈그림 13〉 모형간 대기길이 표준편차 비교

〈표 11〉 접근로별 대기차량 비교

V/C	접근로별 대기차량									
	TOD					본 모형식				
	WB	NB	SB	EB	표준편차	WB	NB	SB	EB	표준편차
0.5	23	8	5	11	7.89	8	9	2	6	3.096
0.6	23	29	25	10	8.221	16	15	12	20	3.304
0.7	31	50	42	17	14.31	16	39	28	32	9.639
0.8	45	68	48	23	18.42	34	49	23	48	12.4
0.9	62	70	69	28	19.82	54	57	53	62	4.041
1.0	68	68	66	41	13.2	49	71	57	58	9.106
평균	42	49	43	22	14	29.5	40	29	38	7

보이고 있으며 평균 개선율은 49.4%이다.

〈표 10〉에서 제시된 접근로 대기길이 편차는 전체 접근로상에 놓인 대기길이간의 표준편차를 나타낸 값이며 그에 대한 접근로별 실제 대기차량이 〈표 11〉에 나타나고 있으며 TOD에 비하여 평균 50%정도 감소함을 보여주고 있다.

Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 대기행렬길이를 측정하는 모형을 제안하고 대기행렬길이를 이용한 실시간 신호제어전략 중 주기산정알고리즘을 구축하여 독립 교차로를 대상으로 한 모의실험을 통하여 기존 TOD와 비교·평가하였다. 검증을 위한 모의실험 Simulator는 개별차량의 행태를 실시간으로 모의실험 할 수 있는 TRACSIM을 사용하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 효율적인 신호제어를 위하여 신호제어단계를 비포화제어(한산 및 정상상황), 과포화제어(과포화 I 및 과포화 II), 앞막힘제어의 4단계로 정의하였다.

둘째, 대기행렬길이를 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 이것은 교차로 상·하류부에 각각 1대씩의 영상검지기를 설치하여 이전 주기의 대기행렬길이, 차로별 유·출입 교통량과 영상검지기의 가시거리내에 포착되는 대기행렬길이를 측정하여 전 링크구간의 대기행렬길이를 측정하는 방식이다. 보정을 위하여 링크구간의 이면도로에 의한 유·출입 교통량에 대한 영향, 횡단보도에 의한 영향 등을 감안한 5가지 경우의 상황을 고려하였다. 본 알고리즘에서는 오차를 보

정하는 과정을 포함하고 있으며 검증은 수행하지 않았고, 추정 정확도가 우수하다고 가정하였다.

셋째, 실시간 신호제어전략의 주요제어변수인 주기산정 알고리즘을 개발하였다. 이것은 기존의 포화도 제어방식을 탈피하여 영상검지기에 의한 대기행렬길이를 기반으로 하였으며 특히 과포화시에는 좀더 신중하게 판단하여 제어를 하도록 구축되었다. 즉 현재 및 이전 2주기의 대기행렬길이를 가중 평균하여 각 베리어상에서 방향별 최대 대기행렬길이를 토대로 결정하였으며, 현재의 주기와 요구주기의 차가 기준값과 다르면 증가 및 감소시키도록 되어있다. 그러나 과포화시에는 증가는 비포화와 동일하나 감소는 일시적인 현상의 오판을 방지한다는 차원에서 좀 더 신중하게 판단하도록 구축하였다.

넷째, 독립교차로를 대상으로, T7F에 의해 최적화된 신호시간계획을 사용하여 운영된 TOD 결과와 개발된 알고리즘에 의해 산출된 결과를 비교·분석하였다. 검증을 위한 모의실험 Simulator는 개별차량의 행태를 실시간으로 모의실험 할 수 있는 TRACSIM을 사용하였으며, 5회 반복한 분석결과는 본 제안모형이 TOD에 비하여 지체 20.5% 감소, 처리 교통량 4.9% 증가, 대기차량수 18.9% 감소, 접근로별 대기행렬길이의 균등비 49.4% 증가되었다.

기존의 신호제어는 포화도를 기반으로 하였으나 지점정보를 이용한 예측의 한계와 기하구조의 영향 및 차량이용행태의 다양성을 적절히 반영하지 못하며, 특히 과포화시의 수요교통량을 대변해주지 못하는 등의 한계가 도출되었다. 이러한 문제들을 해결할 수 있는 방안은 구간정보를 토대로 정확도가 높은 수요교통량(대기행렬길이)을 측정하여 신호제어를 하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 영상검지기의 구간정보를 토대로 대기행렬길이를 추정하는 알고리즘을 제시하였으나 검증이 되지 못하였으며, 또한 제어전략 중 옵셋의 검토가 수행되지 못하였으므로 향후 이에 관한 연구가 요구된다. 또한 포화도에 의한 실시간 신호제어 전략과의 비교·평가가 요망된다.

참고문헌

1. 도로교통안전협회, 서울특별시 교통신호 제어시스템개발 연구용역시행 2차년도 최종보고서, 1992.
2. 도로교통안전협회, 서울특별시 교통신호 제어시스템 기술개발(3차년도)현장제어기 및 검지기 개발 보고서, 1993.
3. 도철웅, "직진 교통의 좌회전 차로 이용율 추정과 교차로 용량,최적 신호등 시간의 산정", 대한교통학회지, 1983.
5. 도철웅, "직진과 좌회전 신호순서에 따른 교차로 용량분석과 신호시간 연구", 대한교통학회지 논문집 제3권 3호, 1983.
6. 이광훈, 교통신호제어이론과 전략, 세진서적, 서울, pp.8~10, 1992.
7. 이영인 외, 신교통신호제어시스템 개선에 관한 연구, 도로교통안전협회, 서울, pp.14~123, 1994.
8. 이승환 외, 첨단도로교통체계 기본계획(1단계) 최종보고서, 건설교통부, pp.9~62, 1995.
9. 이상수, 신호교차로의 실시간 교통제어를 위한 포화도산정 수정모형, 아주대학교 대학원 석사학위 논문, 1995.
10. Alsop, R. E. "Sensitivity of Delay at a Fixed-Time Traffic Signal to Small Errors in the Observations Used for Calculating the Settings."Traffic Flow and Transportation. Chapter 17, Elsevier Publishing Company, New York, New York, 1972.
11. Bleyl, R. L. "A Practical Computer Program for Designing Traffic Signal System Timing Plans," Highway Research Record 211. Highway Research Board, Washington, D.C., pp.19~33, 1967.
12. Brooks, W. D. Designing. Arterial Progressions Using a Digital Computer. IBM Corporation. (Undated.)
13. Chamberlain, R. N. Traffic Progression Program. IBM Corporation.(Undated.)
14. F. V. Webster B. Sc. Ph.D. & B. M. Cobbe, B. Sc., A.M.I.E.E., "Traffic Signals," Road Research Technical Paper No. 56, pp.3~16, 46~76, 1996.
15. F. V. Webster B. Sc. Ph.D., "Traffic Signal Settings" Road Research Technical Paper No. 39, pp.4~16, 1996.
16. Gerade Scemama, "Traffic Control Practices

in Urban Areas," Recherche Transports Securite-English Issue N° 6, pp.17~30, 1991.
17. Hunt, P. B. et al. SCOOT-A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals. Transport and Road Research Laboratory Report No. LR-1014, Grothorne, Berkshire, England, 1981.
18. Hunt, P. B., et al. "The SCOOT On-Line Traffic Signal Optimization Technique," International Conference on Road Traffic Signalling, Institute of Electrical Engineers, London, England, pp.59~62, 1982.(See also Traffic Engineering and Control, Vol. 32, No. 4, pp.190~192, April 1982.)
19. P. B. Hunt, et al., "SCOOT(A traffic responsive method of coordinating signals)," TRRL, 1981.
20. P. B. Hunt, "The SCOOT on-line traffic signal optimization technique", Traffic Engineering Control, pp.190~192, April, 1982.
21. P. R. Lowrie, "SCATS(A traffic responsive method of controlling urban traffic)," RTA, Sydney, pp.4~13, 1990.
22. Robertson, D. I. TRANSYT : A Traffic Network Study Tool. Road Research Laboratory Report No. RL-253, Grothorne, Berkshire, England. 1969.
23. RTA, Presentation on SCATS to the delegation from Seoul Korea, 1990.
24. TRB, "Highway Capacity Manual," Special Report 209, 1994.
25. Wallace, C. E., et al. TRANSYS-7F User's Manual. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1981.
26. William R. Mcshane & Roger P. Roess, "Traffic Engineering", prentice hall polytechnic series in trasportation, pp.380~416, 617~642, 1990.
27. Yagoda, H. N., et al. "Forcast On-Line : Making UTCS Easier to Use," International Conference on Road Traffic Signalling, Institute of Electrical Engineers, London, pp.97~102, 1982.
28. Yardeni, L. A."Vehicular Traffic Control : A Time Space Design."Institute of Traffic Engineers Proceedings. Washington, D.C., pp.59~74, 1964.

♧ 주 작 성 자 : 이철기
♧ 논문투고일 : 2001. 6. 18
논문심사일 : 2001. 7. 30 (1차)
2001. 8. 2 (2차)
심사판정일 : 2001. 8. 2