

지체변화율을 이용한 신호교차로 제어알고리즘 개발

Development of Signal Control algorithm with rate of change on delay

백 현 수

(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

I. 서론	V. 알고리즘 평가
1. 연구의 배경 및 목표	1. 평가대상 교차로
2. 연구의 내용 및 전제조건	2. 평가 시나리오
III. 지체변화율의 계산	3. 평가 결과
1. 지체변화율의 개념	VI. 결론
2. 지체변화율의 계산방법	참고문헌
IV. 신호제어 알고리즘	

I. 서론

1. 연구배경 및 목표

최근 정보통신 기술의 발달로 텔레매틱스와 유비쿼터스 환경이 급격히 발전하였다. 이러한 정보통신 기술의 발달 및 차량내 단말기 탑재 증가로 지능형교통시스템(Intelligent Transportation System, ITS)중 교통운영 및 관리에도 기술의 진보가 이루어지고 있다. 신호교차로의 신호운영과 관련하여 노변장치(Road Side Equipment, RSE)와 차량단말(OnBoard Equipment, OBE)과의 양방향 고속통신이 가능한 능동형 단거리전용통신(Dedicated Short Range Communication, DSRC) 기술은 ETCS와 차량검지 등의 기술에 적용이 되고 있으며 보급이 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 기술의 발달로 구간교통정보의 수집이 용이해져 운전자가 실제로 경험하는 지체 자료의 수집이 가능해졌다.

1950년대 이후 현재까지 신호제어는 링크내의 지점 검지기에서 수집되는 교통량, 순간속도, 점유율을 이용하여 제어하였다. 이러한 제어 방법은 운전자가 경험하는 지체를 추정하여 효과

적으로 삼았다.

DSRC와 같은 발달된 교통정보 수집체계를 이용하면 루프 검지와 영삼검지의 추가 설치 없이도 통행시간 정보의 수집이 가능하다. 그러나 교차로를 통과하는 전체 차량의 정보가 수집되는 것이 아니라 통신단말을 장착한 차량의 정보만이 수집된다. 프로브 차량의 정보를 이용하여 신호제어를 하기 위해서는 전체 차량의 정보를 수집할 수 있는 검지체계를 추가로 설치하거나 프로브 차량의 비율을 높여야 한다.

새로운 검지체계를 추가하지 않고 프로브 차량의 정보를 이용하여 신호제어를 하기 위해서는 프로브 차량의 정보를 이용하여 각 이동류의 통행시간 및 통행시간지체를 산정하는 과정과 도출한 통행시간 및 통행시간지체를 이용하여 신호 교차로를 제어하는 과정이 필요하다.

본 연구에서는 교차로의 각 방향별 교통량은 알 수 없으나 통행시간지체를 알 수 있다는 가정 하에 교통량이 아닌 지체의 변화율을 이용하여 녹색시간을 설정하는 것을 목표로 한다.

2. 연구의 내용 및 전제 조건

본 연구에서는 이전 주기의 신호시간과 교통량

은 수시로 변하나 다음 주기의 교통량은 현재 주기의 교통량과 동일하다는 가정 하에 신호를 제어한다. 또한 각 이동류별 교통량은 알 수 없으나 이동류별 통행시간지체는 수집되는 것으로 전제한다. 독립교차로를 대상으로 한 신호제어에서 신호주기는 TOD 자료에서 가져오는 것으로 하고 녹색시간의 배분을 결정한다.

신호제어 지표로 사용하는 지체변화율의 개념을 정의하고 계산 방법을 제시한다. 지체변화율을 이용하여 신호제어 알고리즘을 개발하고 이를 CORSIM RTE에 이식, 목표한 바 대로 신호제어가 이루어지는지를 평가한다.

3. 선행연구 고찰

Webster(1961)의 신호시간 결정모형 개발 이후로 교통량을 기반으로 한 신호제어가 신호제어의 중심이 되었다.

구간통행시간 정보 수집 기술이 발전함에 따라 신호제어에서 통행시간지체를 고려하는 연구들이 진행되었다. M. Massart(1997)는 비콘을 통해 모든 차량의 통행시간지체를 알고 교통량을 아는 상황을 가정하고 통행시간지체에 기반한 효과척도를 제시하고 녹색시간, 주기를 결정하는 알고리즘을 개발하였다. Henry X. Liu (2001)는 차량재인식기법(Vehicle Reidentification)을 이용하여 통행시간지체를 계산하고, 교통량과 통행시간지체에 기반하여 실시간으로 신호시간을 결정하는 알고리즘을 개발하였다. Emilia Kohlman(2002)은 접근교통류에 차량 1대가 추가되었을 때 증가하는 지체인 한계지체 개념을 제시하고 Webster 식과 Akcelik 지체식, HCM200 지체식에 적용하여 신호시간을 결정하는 알고리즘을 개발하였다.

위의 연구들도 기본적으로 교통량 정보가 수집되고, 수집된 교통량을 기반으로 신호를 제어한다. 그러나 본 연구에서는 교통량은 알 수 없고 지체정보만을 알 수 있는 상황에서 출발하므로 기존의 연구와는 다른 방향에서 접근해야 한다. 본 연구에서는 현재 주기의 교통상황을 기준으로 다음 주기의 신호시간을 설정하는 방식이 아닌, 전 주기와 현재 주기간의 교통상황 변화 비율을 이용하여 신호시간을 결정하는 알고리즘을 제시한다.

II. 지체변화율의 계산

1. 지체 변화율의 개념

신호교차로에서 지체가 발생하는 것은 수요의 변화와 용량의 변화에 의해 발생한다. 돌발상황이나 유고가 없는 신호교차로에서 수요에 영향을 미치는 요인은 교통량, 차량군 분산, 옹셋 등이며, 용량에 영향을 미치는 요인은 기하구조, 신호시간이다. 이를 시간에 따른 변동성으로 구분하며 매 주기마다 변동되는 것은 교통량과 녹색시간이다.

<표 1> 지체의 변화에 영향을 미치는 요인

구분	수요관련 요인	용량관련 요인
주기마다 변동	교통량	녹색시간
단기간 고정	차량군분산, 옹셋	주기
장기간 고정	-	기하구조

주기마다 변동이 발생할 수 있는 교통량과 녹색시간과의 변화율을 이용하여 각 이동류의 지체가 전체 이동류의 평균 지체에 가까워지도록 녹색시간을 조정한다. 모형개발의 편의를 위해 녹색시간 대신 지체와 증감의 방향이 동일한 적색시간비율을 적용하였다.

지체변화율은 인접한 두 주기의 교통상황을 대상으로하여 전주기와 현재 주기의 지체변화량 대 전주기와 현재 주기의 적색시간비율 변화량으로 정의한다.

$$\Delta D_i(t) = \frac{\Delta d_i(t)}{\Delta \lambda_i(t)} \text{-----(식 1)}$$

$$\Delta d_i(t) = d_i(t) - d_i(t-1)$$

$$\Delta \bar{\lambda}_i(t) = \bar{\lambda}_i(t) - \bar{\lambda}_i(t-1)$$

여기서, i : 이동류의 방향

t : 시간대(주기단위)

$\Delta D_i(t)$: 지체변화율

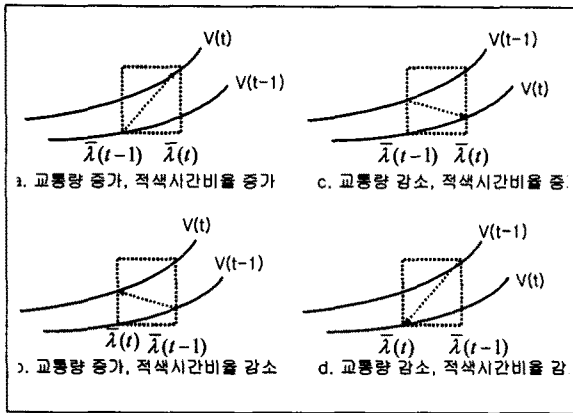
$\Delta d_i(t)$: 전 주기와 현재 주기의 지체 차이

$\Delta \bar{\lambda}_i(t)$: 전 주기와 현재 주기의 적색 시간비율 차이

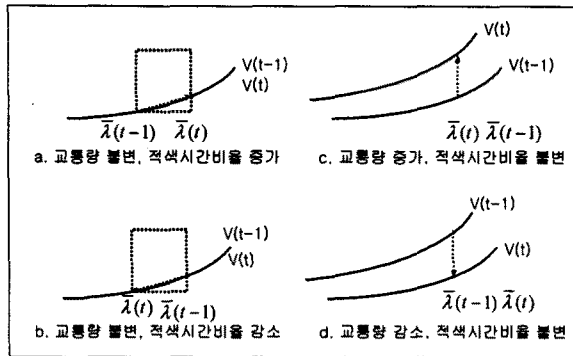
2. 지체 변화율의 계산 방법

지체의 변화율을 계산하기 위해서는 이전 주기와 현재 주기의 지체, 이전 주기와 현재 주기의 적색시간 비율을 알아야 한다. 단순하게 (식 1)의 방식대로 지체 변화율을 계산할 수 있으나 교통량의 변화에 의해 지체변화율이 왜곡될 수 있다. 따라서 교통량의 변화상황과 적색시간비율의 변화상황에 따라 순수하게 적색시간비율의 변화에 의한 신호시간의 변화를 계산해야 한다.

인접한 두 주기에서 발생가능한 상황은 교통량과 적색시간비율이 모두 변하는 네 가지 경우와, 교통량만 변하거나 적색시간비율만 변한 네 가지 경우, 총 여덟 가지의 경우로 구분할 수 있다.



<그림 1> 교통량과 적색시간비율 모두 변화

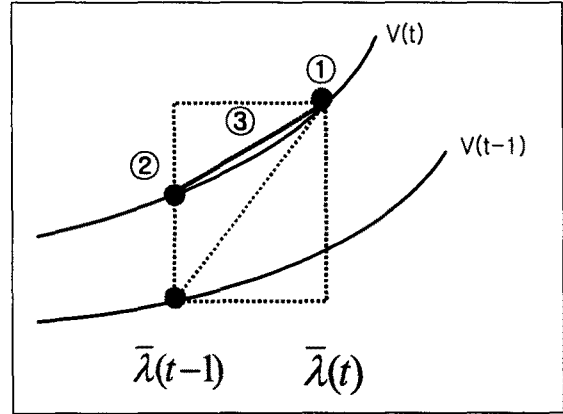


<그림 2> 교통량과 적색시간비율중 하나 변화

교통량의 변화없이 적색시간비율만 변한 경우를 제외한 나머지 경우에는 지체의 변화량 중 교통량의 변동으로 인한 변화량을 제외시켜야 순수하게 적색시간비율의 변화에 의해 변동된

지체의 양을 결정할 수 있다.

이를 위해 <그림 3>의 ①, ②, ③ 과정을 수행한다. ① 과정은 현재 주기의 적색시간 비율, 지체를 이용하여 포화도를 예측한다. 포화도를 계산하기 위한 지체식은 HCM 2000식을 적용하였다.



<그림 3> 지체변화율의 계산 단계

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \text{ ----- (식 2)}$$

$$d_1 = \left(\frac{C}{2} \right) \left\{ \frac{(1-\lambda)^2}{1 - \min(1, x)\lambda} \right\}$$

$$d_2 = 900 T \left[(x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8kIx}{cT}} \right]$$

여기서, d_3 : 과포화 지체

PF : 연동보정계수

C : 신호주기(초)

λ : 녹색시간비율

x : 포화도

T : 분석시간(시)

k : 증분치체 보정계수(조정신호제어 = 0.5)

I : 상류부 유입 보정 계수(독립교차로 = 1.0)

c : 용량(대/시)

본 연구의 대상범위를 독립교차로로 한정하면 도착교통류는 랜덤으로 도착하고, 기존의 대기행렬의 영향을 받지 않는다고 가정하면 지체 모형식을 다음과 같이 단순화할 수 있다.

$$(PF = 1.0, k = 0.5, I = 1.0, d_3 = 0, \lambda = 1 - \bar{\lambda})$$

$$d = \left(\frac{C}{2}\right) \left\{ \frac{(\bar{\lambda})^2}{1-x(1-\bar{\lambda})} \right\} + \frac{C}{4} \left((x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{14400x}{sC(1-\lambda)}} \right), \text{if } x \leq 1$$

----- (식 3)

$$d = \left(\frac{C}{2}\right) \bar{\lambda} + \frac{C}{4} \left((x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{14400x}{sC(1-\lambda)}} \right), \text{if } x > 1$$

----- (식 4)

여기서, s : 포화교통류율

$\bar{\lambda}$: 적색시간 비율

포화도의 계산방법은 포화도를 제외한 나머지 변수를 알고 있거나 상수값으로 처리할 수 있으므로 이분법(Bisection Method)를 이용하여 포화도값을 추적하였다. 지체값의 오차 허용범위는 0.1, 최대 반복횟수는 100회로 설정하였다.

② 과정은 이전 주기의 교통량이 현재 주기와 동일했을 경우의 지체를 계산하는 과정이다. 현재 주기의 포화도(① 과정에서 계산), 이전 주기의 적색시간비율을 이용하여 현재 주기에서 이전 주기의 적색시간비율일 때의 지체를 계산한다.

③ 과정은 이전 주기와 현재 주기의 지체 변화량에서 교통량의 변화로 인한 지체 변화량을 빼서 순수하게 적색시간비율의 변화에 의한 지체 변화량을 계산한다. (식 1) 중 지체의 변화량을 계산하는 항목은 아래의 (식 5)로 대체된다.

$$\Delta d_i(t) = d_i(t) - d_i(t') \text{ ----- (식 5)}$$

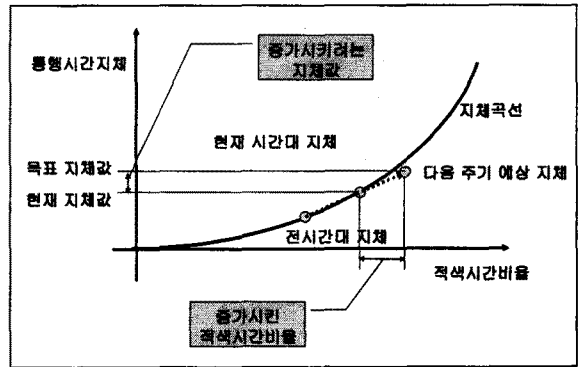
여기서, $d_i(t) = f(x_i(t), \bar{\lambda}_i(t))$, 포화도가 $x_i(t)$, 적색시간비율이 $\bar{\lambda}_i(t)$ 인 경우의 지체

$d_i(t') = f(x_i(t), \bar{\lambda}_i(t-1))$, 포화도가 $x_i(t)$, 적색시간비율이 $\bar{\lambda}_i(t-1)$ 인 경우의 지체

적색시간비율의 변화가 없는 경우에는 현재 주기의 적색시간비율에서 0.01만큼을 감한 값을 기준으로 지체변화율을 계산한다.

적색시간비율의 변화에 대한 지체의 변화량이 계산되면 지체변화율을 기준으로 다음 주기에 적색시간비율을 어느 정도 증감시킬 것인지를

결정한다. <그림 4>는 현재 주기의 평균지체가 교차로 전체 평균지체보다 작아 지체를 증가시키는 이동류에서 적색시간비율을 조정하는 예시이다. 전시간대와 현재 시간대의 정보를 기반으로 지체변화율을 계산한 후, 증가시키고자 하는 지체값(교차로 평균과 이동류 평균의 차)만큼 증가하도록 적색시간비율을 높인다.



<그림 4> 적색시간비율의 증감결정 방법

III. 신호제어 알고리즘

본 알고리즘에서는 지체를 균등화하는 것을 목적함수로 한다.

$$\min Z \quad Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (ttd_i - \overline{ttd})^2}{8}}$$

여기서, i : 이동류 번호(4지 교차로 직진/좌회전 총 8개의 회전방향을 기준으로 함)

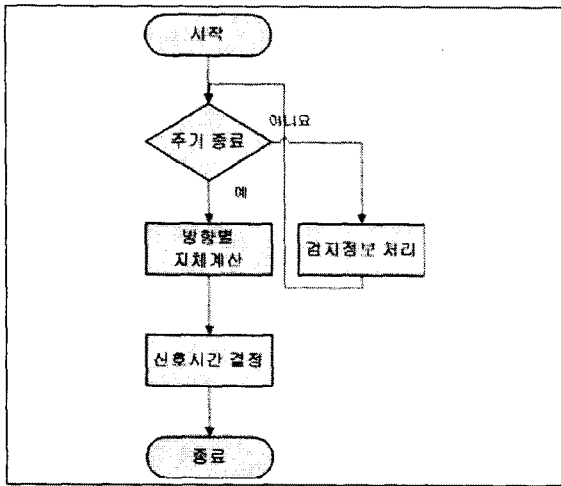
ttd_i : 각 이동류별 통행시간 지체

\overline{ttd} : 8개 이동류의 통행시간 지체의 산술평균

매 주기별로 목적함수를 달성하기 위해 모든 이동류의 평균값과 각 이동류간의 평균값과의 차이를 계산하여 각 이동류의 평균이 전체 평균에 가까워지도록 조정한다.

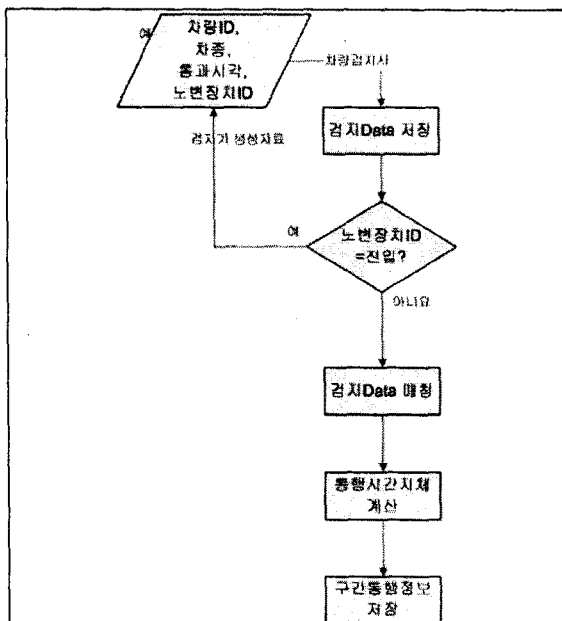
신호제어 알고리즘은 개별 차량의 정보를 수집하여 통행시간 및 통행시간지체 정보를 수집하는 검지정보 처리부분과 한 주기 동안 수집된 통행시간지체 자료와 신호시간 자료를 이용하여 지체변화율을 계산하고 신호시간을 결정하는 신호시간 결정 부분으로 나뉜다.

주기 진행시에는 각 이동류별 검지 정보를 수집하고 이를 통행시간 및 통행시간 지체로 변환한다.



<그림 5> 전체 알고리즘의 틀

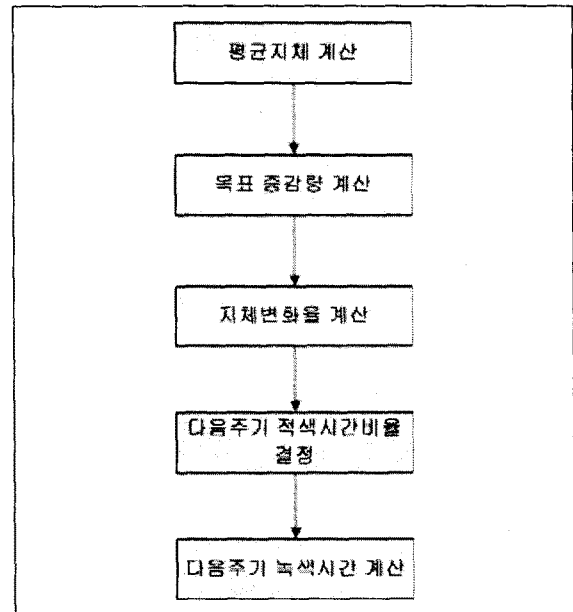
검지정보 처리과정에서는 노변장치에서 검지된 차량정보를 저장하고 유입검지기이면 대기상태로, 유출 검지기이면 차량정보를 탐색하여 개별 차량의 통행시간 및 통행시간지체 정보를 기록한다.



<그림 6> 검지정보 처리

주기 종료시에는 각 이동류의 통행시간지체를 취합하고 교차로의 평균지체(각 이동류의 평균지체의 평균값으로 교통량의 개념이 포함되지

않은 값임)를 계산한다. 이 평균값을 목표로 각 이동류의 신호시간을 조정하여 평균보다 지체가 큰 이동류의 녹색시간은 증가시키고, 평균보다 지체가 작은 이동류의 녹색시간은 감소시킨다.



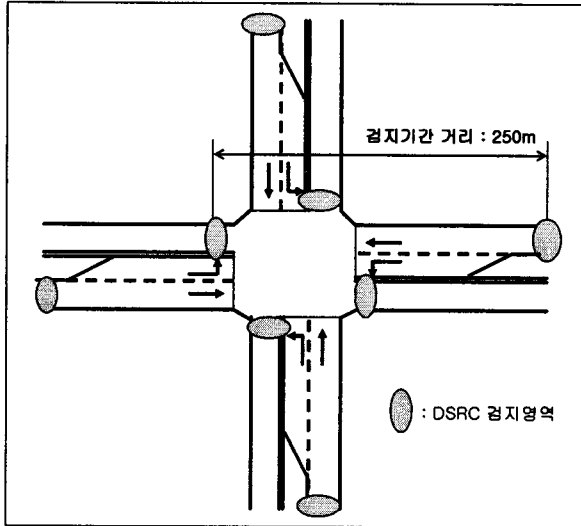
<그림 7> 신호시간 결정

IV. 알고리즘 평가

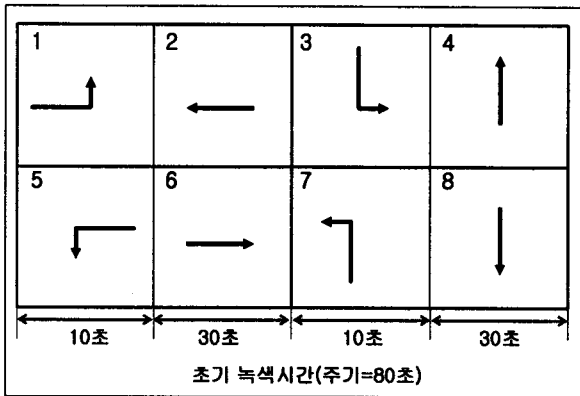
개발한 신호제어 알고리즘이 교통상황이 변화에 적절하게 대응하는지 CORSIM RTE를 통해 평가하였다.

1. 평가 대상 교차로

동서방향을 주방향, 남북방향을 부방향으로 설정하고 각 방향별로 직진 1차로, 좌회전 포켓 1차로의 동일한 기하구조 조건으로 구성하였다. 검지기는 교차로 진출부 초입에 설치하였으며 검지기간 거리는 250m, 좌회전 포켓의 길이는 각 방향 모두 220m로 설정하였다. 신호현시는 주방향의 좌회전을 먼저 처리하는 선행좌회전 (Lead Left-turn) 이중고리 기반(Dual Ring) 중복현시(Overlap Phase)체계를 적용하였다. 주기길이는 80초로 고정하였으며, 포화도 산정시 사용되는 포화교통류율은 1,800vph로 입력하였다. 초기 녹색시간은 주방향과 부방향 공통으로 좌회전에 10초, 직진에 30초를 할당하였다.



<그림 5> 평가대상 교차로 기하구조



<그림 6> 현시체계 및 이동류의 번호

2. 평가 시나리오

시나리오 A는 교통량이 주방향 및 부방향에서 분석시간대 동안 균일하게 유입되는 경우, 신호 시간 및 지체가 어떻게 변화하는지 분석한다.

<표 2> 시나리오 A

구분	초기 v/c	
	주방향	부방향
case A1	0.3	0.3
case A2	0.7	0.7
case A3	0.9	0.9
case A4	1.2	1.2
case A5	0.9	0.3

시나리오 B는 부방향 교통량이 일정하고 주방향의 교통상황이 변하는 경우, 교통상황의 변화에 따라 신호시간과 지체가 어떻게 변화하는지

를 분석한다. 주방향중 동측 접근로(중방향)의 교통량이 불포화 상태 → 과포화 상태 → 불포화 상태로 전이될 경우 이에 대응하여 신호시간 및 지체의 변동을 분석하였다.

<표 3> 시나리오 B

대안	구분 시간대	v/c	
		주방향중 정방향	부방향, 주방향중 역방향
case B1	0~900초	0.5	0.3
	~1500초	0.9	0.3
	~2100초	1.2	0.3
	~2700초	0.9	0.3
	~3600초	0.5	0.3
case B2	0~900초	0.5	0.5
	~1500초	0.9	0.5
	~2100초	1.2	0.5
	~2700초	0.9	0.5
	~3600초	0.5	0.5
case B3	0~900초	0.5	0.7
	~1500초	0.9	0.7
	~2100초	1.2	0.7
	~2700초	0.9	0.7
	~3600초	0.5	0.7
case B4	0~900초	0.5	0.9
	~1500초	0.9	0.9
	~2100초	1.2	0.9
	~2700초	0.9	0.9
	~3600초	0.5	0.9
case B5	0~900초	0.5	1.2
	~1500초	0.9	1.2
	~2100초	1.2	1.2
	~2700초	0.9	1.2
	~3600초	0.5	1.2

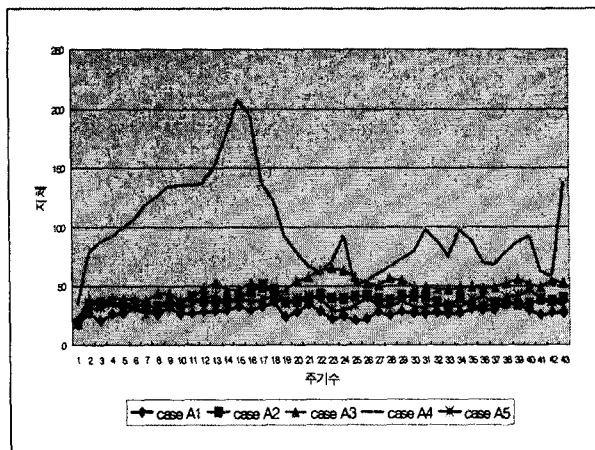
시나리오 C는 주방향과 부방향이 동시에 변하는 경우 신호시간 및 지체의 변동을 분석한다. 주방향(동서방향)의 교통량과 부방향(남북방향)의 교통량이 같은 패턴으로 증가하거나 감소하는 경우와 서로 다른 패턴으로 교통량이 역전되는 경우에 대해 분석한다.

<표 4> 시나리오 C

구분		v/c	
대안	시간대	주방향	부방향
case C1	0~900초	0.5	0.5
	~1500초	0.9	0.9
	~2100초	1.2	1.2
	~2700초	0.9	0.9
	~3600초	0.5	0.5
case C2	0~900초	1.2	0.5
	~1500초	0.9	0.9
	~2100초	0.5	1.2
	~2700초	0.9	0.9
	~3600초	1.2	0.5
case C3	0~900초	0.3	1.2
	~1500초	0.5	0.9
	~2100초	0.7	0.7
	~2700초	0.9	0.5
	~3600초	1.2	0.3
case C4	0~900초	0.9	0.5
	~1500초	0.7	0.7
	~2100초	0.5	0.9
	~2700초	0.7	0.7
	~3600초	0.9	0.5

3. 평가 결과

시나리오 A를 분석한 결과 각 방향 지체의 평균값은 불포화시나 근포화시에는 일정한 값을 유지하나 과포화시에는 변동폭이 매우 커진다. 시나리오 A의 각 대안별 평균 및 표준편차는 <표 5>와 같으며 불포화상태에서 일정 교통량이 유입되면 지체도 일정하게 유지됨을 알 수 있다.

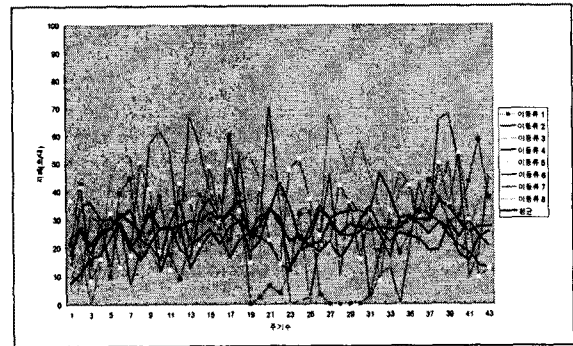


<그림 7> case A : 각 방향 지체의 평균

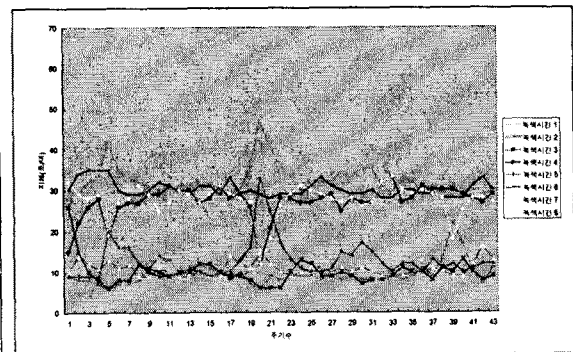
<표 5> 시나리오 A 지체평균 분석

대안	A1	A2	A3	A4	A5
최소	17.4	18.3	21.7	34.6	18.0
최대	36.3	50.5	65.4	207.7	46.4
평균	27.9	37.4	48.4	98.1	35.4
표준편차	3.97	4.89	8.05	38.64	5.11

불포화 상태인 대안 A1에 대해 이동류별 지체 변화와 녹색시간 변화는 <그림 8><그림 9>와 같다. 이동류별 지체는 10초/대~60초/대 사이에서 수시로 변동하나 평균값은 36초/대 근방에 안정적인 추세를 유지하고 있다. 신호시간은 일시적인 변동외에는 직진은 30초대 좌회전은 10초대에서 안정적으로 유지되는 것으로 나타난다.



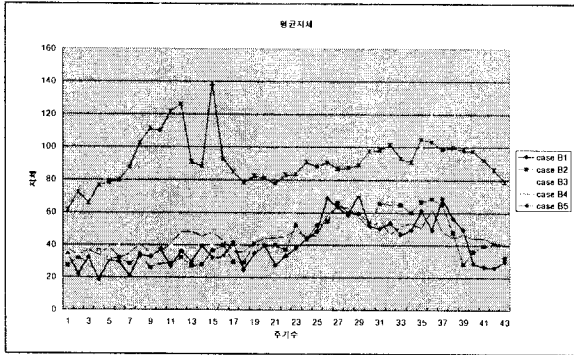
<그림 8> case A1 : 이동류별 지체 변화



<그림 9> case A1 : 이동류별 녹색시간 변화

주방향 중 서측접근로와 부방향도로의 교통량을 고정시키고 주방향 동측접근로의 교통량만 변화시킨 대안 B의 분석 결과, 불포화상태에서는 안정적인 지체와 신호시간이 유지되나 과포화상태에서는 녹색시간의 증가에도 불구하고

교통량의 증가로 인한 지체 증가 폭이 커 해당 이동류의 지체가 큰 폭으로 증가하였다.

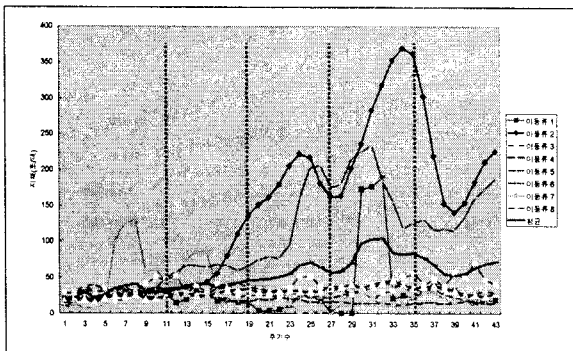


<그림 10> case B : 각 대안별 지체의 평균

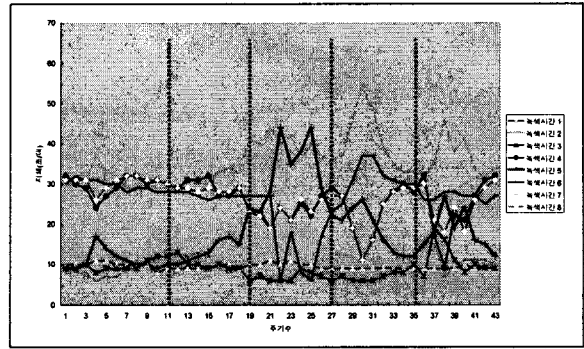
<표 5> 시나리오 B 지체평균 분석

대안	B1	B2	B3	B4	B5
최소	14.9	26	29.8	31.9	61.2
최대	104.1	68.4	134.7	63.8	138.5
평균	53.8	42.6	57.3	45.2	91.7
표준 편차	21.93	14.09	27.17	8.15	14.93

대안 B1의 경우 증방향인 2번과 5번 이동류의 지체가 과포화상태인 포화도 1.2부터 증가하여 0.9상태에서도 증가하다 0.5이후로 감소하였다. 2번 이동류의 신호시간은 점진적으로 증가하다 녹색시간의 증가에도 불구하고 지체가 증가하는 포화도 1.2→포화도 0.9 구간에서 녹색시간이 감소하였다. 이는 녹색시간의 증가에 의해 지체 변화보다 교통량의 증가 및 대기행렬의 증가에 의한 지체 변화가 커 발생하는 현상이다.

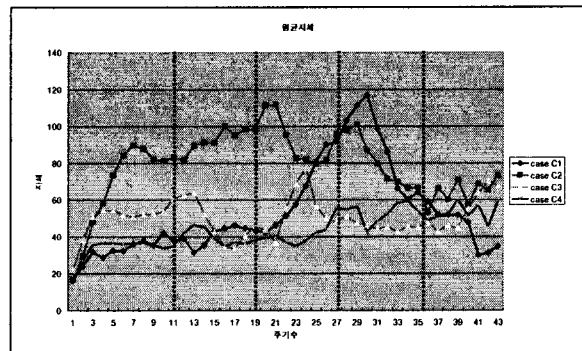


<그림 11> case B1 : 이동류별 지체 변화



<그림 12> case B1 : 이동류별 녹색시간 변화

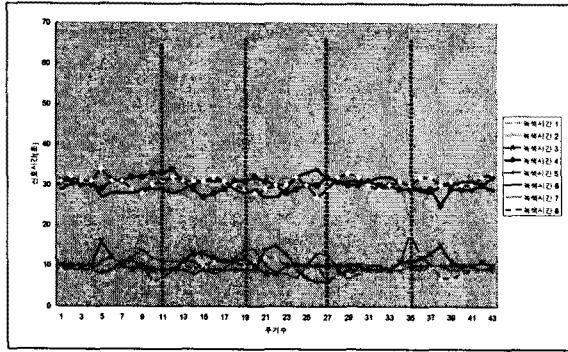
대안 C1은 주방향과 부방향의 교통량이 동일한 비율로 증가하는 경우이다. 과포화가 발생하기 시작하는 25분후(19번째 주기 이후)부터 지속적으로 지체가 증가했다가 유입 교통량이 근포화로 떨어지고 대기행렬이 해소되기 시작하는 30주기 이후로 지체가 감소한다. 대안 C2와 대안 C4는 전체 교통량은 일정하고 주방향과 부방향의 교통량이 상대적으로 증가/감소하는 경우이다. 대안 C2는 과포화 상황을 포함하고 대안 C4는 과포화 상황을 포함하지 않는다. 대안 C4는 평균 43.4초/대, 표준편차 9.83으로 대안2에 비해 낮은 평균값과 표준편차를 보인다.



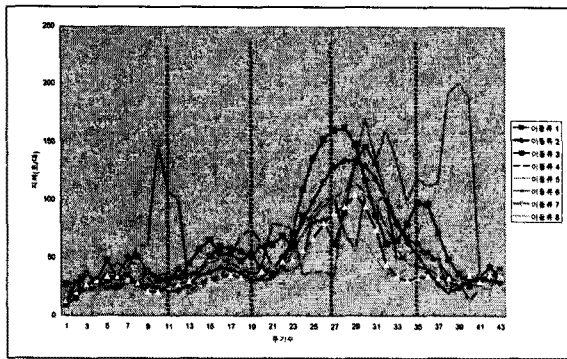
<그림 13> case C : 각 대안별 지체의 평균

<표 5> 시나리오 C 지체평균 분석

대안	C1	C2	C3	C4
최소값	16.1	16.8	22	15.1
최대값	116.7	111.8	77.1	60.3
평균	52.9	78.5	50.2	43.4
표준 편차	24.67	19.48	10.54	9.83



<그림 14> case C1 : 이동류별 녹색시간 변화



<그림 15> case C1 : 이동류별 평균지체

V. 결론

교통량에 대한 정보는 알 수 없으나 통행시간 지체에 대한 정보는 알 수 있는 상황에서 녹색시간의 배분을 통해 각 이동류의 평균지체가 전체 방향의 평균값에 가까워지도록 하는 알고리즘을 개발하였다. 녹색시간의 증감여부는 교차로 평균지체와 이동류별 평균지체와의 차이로 판단하였으며 증감 정도는 지체변화율을 이용하여 결정하였다.

개발 알고리즘의 평가 결과 불포화 상태에서 안정적인 지체와 녹색시간의 변화를 보였다. 과포화상태에서는 지체값의 크기가 커졌으나 지체값의 증가에 따라 녹색시간이 증가하였으며, 과포화상태 해소 이후에는 안정적인 지체와 녹색시간 변화를 보였다.

그러나 직진교통류에 비해 상대적으로 교통량이 적은 좌회전 교통류의 경우 녹색시간의 변동폭에 비해 지체값의 진폭이 매우 큰 경우가 자주 발생하였다.

본 연구는 통행시간정보를 알 수 있다고 가정

하고 출발하였으나 프로브 정보를 이용하여 전수 통행시간지체 정보를 산정하는 것은 매우 중요하다. 향후 프로브 정보를 이용하여 통행시간을 산정하는 알고리즘에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 현재의 신호제어 알고리즘은 녹색시간 배분에 한정되어 있으나 교통상황에 따라 주기를 조정하는 알고리즘의 추가가 필요하다.

참고문헌

Emilia Kohlman Rabbani, Graham Bullen, Marginal Delay-new measure for quality of service at signalized intersections, Transportation Research Record 1802, 02-2347, pp32-43, 2002

Henry X. Liu, Jun S. Oh, Lianyu Chu, Will Recker, On-line traffic signal control scheme with real-time delay estimation technology, California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-2001-16, University of California, Irvine, 2001

M. Massart, M. Koshi and M. Kuwahara, Traffic signal control based on travel time information from beacons, Proceedings of the SECOND WORLD CONGRESS on INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS '95 YOKOHAMA, Vol.1, pp.30-35, VERTIS, 1995.11

TRB, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, D.C., 2000

Webster, F. V. Traffic signal settings, Technica Paper 39. U.K. Transport and Road Research Laboratory, London, 1961