

■ 論 文 ■

실시간 신호제어알고리즘 개발에 관한 연구

An Algorithm for Real-Traffic Signal Control at An Isolated-Intersection

신 언 교

((주)한국해외기술공사 상무)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

이 증 만

(한국도로공사 중부건설사업소
부처장)

목 차

- | | |
|-------------|------------|
| I. 서론 | 2. 제약조건 |
| II. 관련연구 검토 | IV. 모형적용 |
| III. 모형구축 | V. 결론 및 제언 |
| 1. 목적함수 | 참고문헌 |

Key Words : 고정식신호제어, 감응식신호제어, 혼합정수선형계획법, ATMS, 신호제어변수, 신호상태변수

요 약

UTCS와 같은 고정식 신호제어시스템은 미리 정해진 신호시간계획에 의해 운영되는 방식으로 통과폭을 최대화하거나 지체를 최소화하는 신호시간을 산정해 주지만 교통량 변화를 고려하지 못한다. 감응식은 신호시간 변수들을 일정량씩 변화시키면서 교통량 변화에 대응하는 SCOOT 같은 방식과 동적교통모형을 이용하여 시간대별로 신호시간 변화를 최적화 하는 PROLYN 등과 같은 방식이 주를 이루고 있다. 전자의 경우에는 교통량 변화에 즉각적으로 대응하지 못하는 단점이 있고, 후자와 같은 실시간 동적 신호제어모형의 경우 신호제어 상태에 따른 교통흐름이 적절하게 반영되지 못하는 단점을 갖고 있다. 본 연구에서는 후자의 방법을 토대로 시간대별로 신호상태에 따른 다양한 교통흐름을 반영할 수 있는 동적 신호제어 알고리즘을 제시하였다. 제시된 모형은 혼합정수선형계획법(BMILP)으로 매 시간단계별로 지체시간을 최소화해주는 신호제어변수를 산정해 준다. 모형적용 결과 본 모형은 단계별로 지체시간을 최소화해주는 동적신호시간을 적절하게 산정해 주었다. 따라서 실시간신호제어 등 첨단교통관리(ATMS)에 적용될 경우 그 효과가 기대된다고 할 수 있다.

I. 서론

도시교통문제 해결을 위한 도로의 건설 및 확장 등 교통시설 확충사업은 막대한 건설 비용과 환경문제들을 유발하여 시행하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 그 대신 교통운영개선사업은 단기적이고 저비용 사업으로 관심이 집중되고 있다. 도시부 도로에서의 교통운영은 교차로의 신호운영에서 비롯된다고 할 수 있다. 그래서 기존의 정주기식 및 감응식 등 신호운영기술에 대한 많은 발전이 이루어져 실시간신호제어 등 첨단교통관리(ATMS)가 이루어지고 있다. 그러나 현재 시스템들은 교통량 대신 포화도나 정체도 등 2차적으로 계산된 변수를 사용하여 신호제어를 하거나 교통량을 직접 신호제어변수로 적용하는 경우에도 교통흐름 및 신호최적화 과정에서 적절하게 고려되지 못하고 있다. 이로 인하여 대응시간이 늦어지고 교통흐름에 즉각적으로 대응하지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 모든 이동류의 순간순간 교통량 변화와 신호상태에 따른 용량 변화를 고려하여 신호시간을 최적화할 수 있는 실시간 동적 신호 최적화알고리즘을 제시하고자 한다.

II. 관련연구 검토

신호제어방법은 대체로 고정식과 감응식으로 나뉜다. UTCS 등으로 널리 알려진 고정식은 미리 정해진 신호시간계획에 의해 운영되는 방식으로 MAXBAND나 TRANSYT 등에 의해서 통과폭을 최대화하거나 지체를 최소화하면서 신호시간을 산정하게 된다. 감응식은 splits, offsets, 신호주기 등을 일정량씩 변화시키면서 교통량 변화에 대응하는 SCOOT, SCATS 등과 같은 방식과 상기 변수들과는 상관없이 동적교통모형을 이용하여 시간대별로 신호시간 변화를 최적화 하는 PROLYN, OPAC 등과 같은 방식이 주를 이루고 있다. Wey and Jayakrishnan(1997)은 후자와 같은 실시간 동적 신호제어모형을 제시하였다. 그러나 상기 모형에서는 신호가 바뀌는 단계의 용량이 적절하게 산정되지 못하므로 시간대별 지체시간 및 이를 최소화하는 신호시간계획이 적절하게 산정되지 못하는 단점을 갖고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결할 수 있는 동적 교통류모형 및 신호제어를 위한 알고리즘이 요청되고 있다.

III. 모형구축

1. 목적함수

본 연구에서는 신호교차로에서의 이동류별 용량 및 대기공간과 교통량 변화에 따른 동적교통류와 대기차량 전이모형으로 표현되는 지체시간최소화 실시간 동적 신호제어모형을 혼합정수선형계획법(BMILP)으로 제시하였다. 본 모형에서는 교통신호가 매 시간대마다 변할 수 있고 대기공간 내에서의 대기차량발생을 허용하면서 지체를 최소화 해주는 신호시간이 산정 되게 된다. 본 모형의 목적함수는 단일교차로에서 시간대별로 발생하는 지체시간을 최소화하는 것이다. 시간대(k)별 대기차량 전이과정은 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있다.

ΔT 는 시간대 크기로 모든 단계에서 동일하므로 이동류 i 의 총 지체시간(D_i)은 각 단계별 초기 대기차량과 최종 대기차량으로 이루어지는 사다리꼴 면적을 합한 값과 동일하다.

$$D_i = \frac{1}{2} [(L_{i0} + L_{i1}) + \dots + (L_{i,n-1} + L_{in})] \Delta T$$

여기서,

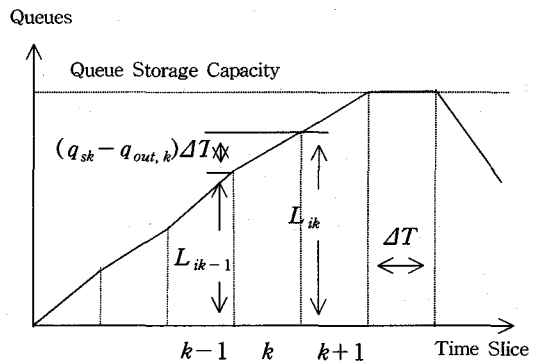
k : 시간대 순서 번호

i : 이동류 번호

L_{ik} : i 이동류의 k 단계시 대기차량 ($k=0$ 인 경우는 초기 대기차량 임)

k 단계에서 발생하는 이동류 i 의 지체시간(D_{ik})은 다음과 같다.

$$D_{ik} = \frac{1}{2} (L_{i,k-1} + L_{ik}) \Delta T$$



<그림 1> 대기차량 전이과정

따라서 목적함수는 다음과 같다.

$$\text{Min} \sum_{\text{all } k} \sum_{\text{all } i} D_{ik} \quad (1)$$

2. 제약조건

본 모형에서는 각 시간대별, 각 이동류별로 신호시간 상태(녹색시간, 적색시간)와 신호제어 상태(신호지속, 신호전환) 변화에 따라 신호제어가 이루어지게 된다. 이동류 i 의 단계 k 에서의 신호상태는 이진변수(binary integer)인 전 단계($k-1$)의 신호상태변수(u_{ik-1})와 신호제어변수(ξ_{ik-1})에 의해 <표 1>과 같이 결정된다.

<표 1>의 4가지 경우를 하나의 수식으로 표현하면 다음식과 같다.

$$u_{ik} = \xi_{ik-1} + u_{ik-1} - 2\xi_{ik-1}u_{ik-1} \quad (2)$$

상기 식에서 u_{ik-1} 와 ξ_{ik-1} 는 이진변수로 (u_{ik} , ξ_{ik})가 (0,0)이면 Case 1, (0,1)이면 Case 2, (1,0)이면 Case 3, (1,1)이면 Case 4에 해당되게 된다. 식(2)를 선형화 하면 다음과 같다.

$$u_{ni}(k) \geq -\xi_{ni}(k-1) - u_{ni}(k-1)$$

$$u_i(k) \leq \xi_i(k-1) + u_i(k-1)$$

$$u_i(k) \geq -\xi_i(k-1) + u_i(k-1)$$

$$u_i(k) \leq \xi_i(k-1) - u_i(k-1) + 2$$

$$u_i(k) \geq \xi_i(k-1) - u_i(k-1)$$

$$u_i(k) \leq -\xi_i(k-1) + u_i(k-1) + 2$$

$$u_i(k) \geq \xi_i(k-1) + u_i(k-1) - 2$$

$$u_i(k) \leq -\xi_i(k-1) - u_i(k-1) + 2$$

이러한 신호제어는 상충 이동류들간에는 같은 시간

<표 1> 신호제어 상태

구분	u_{ik-1}	ξ_{ik-1}	u_{ik}
Case 1	0	0	0
Case 2	0	1	1
Case 3	1	0	1
Case 4	1	1	0

주) u_{ik-1} (0:녹색, 1:적색), ξ_{ik-1} (0:신호지속, 1:신호전환)

대에 녹색시간을 할당할 수 없다. 이동류 i 와 이동류 j 가 상충 이동류라고 하면 동시에 진행이 되지 못하도록 해야 한다. 그리고 <표 1>에 의한 신호제어는 녹색시간과 적색시간으로만 표현되어 황색시간이 고려되지 못한다. 이를 반영하기 위하여 ΔT 가 황색시간(T_y)보다 큰 경우는 적색신호에서 신호시간이 바뀌면 다음 시간대에서 황색시간을 제외한 $\Delta T - T_y$ 시간 동안은 녹색시간으로 차량 통행이 가능하고, ΔT 가 T_y 와 같거나 작은 경우 신호시간이 바뀌면 다음 시간대에서 차량통행이 불가능하게 된다. 이러한 두가지 상황을 고려하기 위하여 다음 조건식 중에서 선택적으로 된다.

- $\Delta T \leq T_y$ 인 경우:

$$u_{ik} + u_{jk} \geq 1 - (\xi_{ik-1} + \xi_{jk-1}) \quad (3)$$

- $\Delta T > T_y$ 인 경우:

$$u_{ik} + u_{jk} \geq 1 \quad (4)$$

<표 1>에 의해 적색신호에서 신호가 바뀌게 되면 녹색신호($u_{ik} = 0$)로 나타나지만 $\Delta T \leq T_y$ 인 경우에는 실제로는 황색신호이므로 상충 이동류라 하더라도 식(3)에 의해 동시에 $u_{ik} = 0$ 이 될 수 있다. 그러나 $\Delta T > T_y$ 의 경우는 적색신호에서 신호가 바뀌더라도 황색시간을 제외한 나머지 시간은 녹색시간으로 차량통행이 가능하므로 식(4)에 의해 상충 이동류가 동시에 $u_{ik} = 0$ 이 될 수 없다.

위와 같은 신호제어 상태에서 이동류 i 가 k 시간대에 갖을 수 있는 용량($q_{go,k}^i$)은 다음과 같다.

첫째, 전 단계 녹색시간에서 녹색신호 지속일 때:

$$q_{go,k}^i = S^g_i \text{ (녹색시간 용량)}$$

둘째, 녹색시간에서 신호가 바뀔 때:

$$q_{go,k}^i = S^y_i \text{ (황색시간 용량)}$$

셋째, 적색시간에서 적색신호 지속일 때:

$$q_{go,k}^i = 0$$

넷째, 전 단계 적색시간에서 신호가 바뀔 때 :

$\Delta T \leq T_y$ 인 경우에는 $q^i_{go,k} = 0$,

$\Delta T > T_y$ 인 경우는 $\frac{\Delta T - T_y}{\Delta T} S^g_i$

이들 네 가지 경우를 u_{ik} 와 ξ_{ik} 를 사용하여 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$q^i_{go,k} = (1 - u_{ik}) [S^g_i (1 - \xi_{ik}) + S^y_i \xi_{ik}] + \frac{\Delta T - T_y}{\Delta T} S^g_i \xi_{ik} u_{ik} \quad (5)$$

여기서, (u_{ik}, ξ_{ik}) 가 (0,0)이면 녹색시간 지속으로 S^g_i , (0,1)이면 녹색시간에서 황색신호(적색신호 포함)로 바뀌므로 S^y_i , (1,0)이면 적색시간에서 적색시간 지속으로 0, (1,1)이면 적색에서 녹색신호(황색신호 포함)로 용량은 다음과 같다.

$$\frac{(\Delta T - T_y)}{\Delta T} S^g_i, \quad (\Delta T - T_y \geq 0)$$

식(5)는 다음과 같은 선형식들로 표현된다.

$$q^i_{go,k} \geq S^g_i (1 - \xi_{ik-1}) + S^y_i \xi_{ik-1} - S^g_{n_i} u_{n_i} (k-1)$$

$$q^i_{go,k} \leq S^g_i (1 - \xi_{ik-1}) + S^y_i \xi_{ik-1} + S^g_i u_{ik-1}$$

$$q^i_{go,k} \geq -S^g_i \xi_{ik-1} + S^g_i u_{ik-1} - S_i$$

$$q^i_{go,k} \leq S^g_i \xi_{ik-1} - S^g_i u_{ik-1} + S^g_i$$

$$q^i_{go,k} \geq \frac{\Delta T - T_y}{\Delta T} S^g_i \xi_{ik-1} + \frac{\Delta T - T_y}{\Delta T} S^g_i u_{ik-1}$$

$$-3 \frac{\Delta T - T_y}{\Delta T} S^g_i$$

$$q^i_{go,k} \leq -\frac{\Delta T - T_y}{\Delta T} S^g_i \xi_{ik-1} - \frac{\Delta T - T_y}{\Delta T} S^g_i u_{ik-1}$$

$$+3 \frac{\Delta T - T_y}{\Delta T} S^g_i$$

앞에서 산정되는 용량을 제약조건으로 갖으면서 이동류 i 는 각 단계별로 진입되는 교통량 변화에 따라 다음식에 의해서 산정되는 교통량이 교차로를 통과하게 된다.

이동류 i 의 k 시간대 교차로 유출교통량($q^i_{out,k}$)은

$$q^i_{out,k} \Delta T = \text{Min}\{q^i_{go,k} \Delta T, q^i_{sk} \Delta T + L_{ik-1}\} \quad (6)$$

여기서, q^i_{sk} = 이동류 i 의 대기차량 또는 정지선 도착차량을 (대/초); L_{ik} = 이동류 i 의 k 시간대 대기차량 (대)

$$L_{ik} = L_{ik-1} + (q_{sk} - q_{out,k}) \Delta T \quad (7)$$

L_{ik} 는 0 보다 커야 되고 spillback이 발생되지 않도록 대기공간을 초과하면 안 되므로 다음 제약조건들을 만족시켜야 한다.

$$L_{ik} = \text{Max}\{0, L_{ik-1} + (q_{sk} - q_{out,k}) \Delta T\} \quad (8)$$

$$L_{ik} \leq \omega n_i \frac{QL_i}{SH_i} \quad (9)$$

여기서, w = 여유용량계수 ($w < 1$) $n_i = i$ 이동류 차로수

조건식인 식(6), 식(8)은 각각 다음과 같은 4개 수식들로 선형화된다.

$$q^i_{out,k} \Delta T \leq q^i_{go,k} \Delta T$$

$$q^i_{out,k} \Delta T \leq q^i_{sk} \Delta T + L_{ik-1}$$

$$q^i_{go,k} \Delta T - q^i_{out,k} \Delta T \leq Mz^i_{kl}$$

$$q^i_{sk} \Delta T + L_{ik-1} - q^i_{out,k} \Delta T \leq M(1 - z^i_{kl})$$

$$L_{ik} \geq 0$$

$$L_{ik} \geq L_{ik-1} + (q_{sk} - q_{out,k}) \Delta T$$

$$L_{ik} \leq Mz^i_{kl}$$

$$L_{ik} - [L_{ik-1} + (q_{sk} - q_{out,k}) \Delta T] \leq M(1 - z^i_{kl})$$

전술한 제약조건들을 만족하면서 본 모형은 목적함수인 모든 이동류들에 의해 발생하는 지체시간을 최소화하면서 모든 이동류에 대한 신호시간을 산정하게 된다. 이동류 i 의 녹색시간은 한 단계에서만 발생할 수도 있지만 수개의 단계에 걸쳐 연속적으로 지속될 수 있다. 이러한 모든 경우를 만족하는 신호시간은 다음 식으로 산정 된다.

$$g_{ik} = (g_{ik-1} + \Delta T)(1 - \xi_{ik-1})(1 - u_{ik-1}) + (\Delta T - T_y) \xi_{ik-1} u_{ik-1} \quad (10)$$

식(10)을 선형식으로 표현하면

$$\begin{aligned}
 g_{ik} &\geq g_{ik-1} + \Delta T(1 - M\xi_{ik-1} - M\mu_{ik-1}) \\
 g_{ik} &\leq g_{ik-1} + \Delta T(1 + M\xi_{ik-1} + M\mu_{ik-1}) \\
 g_{ik} &\geq M\xi_{ik-1} - M\mu_{ik-1} - M \\
 g_{ik} &\leq -M\xi_{ik-1} + M\mu_{ik-1} + M \\
 g_{ik} &\geq -M\xi_{ik-1} + M\mu_{ik-1} - M \\
 g_{ik} &\leq M\xi_{ik-1} - M\mu_{ik-1} + M \\
 g_{ik} &\geq (\Delta T - T_y) + M\xi_{ik-1} + M\mu_{ik-1} - 2M \\
 g_{ik} &\leq (\Delta T - T_y) - M\xi_{ik-1} - M\mu_{ik-1} + 2M
 \end{aligned}$$

위 8개 식에 의해,

(u_{ik-1}, ξ_{ik-1}) 가 $(0,0)$ 이면

$$g_{ik} = g_{ik-1} + \Delta T,$$

$(0,1)$ 및 $(1,0)$ 인 경우에는 $g_{ik} = 0$,

$(1,1)$ 이면 $g_{ik} = \Delta T - T_y$ ($g_{ik} \geq 0$)

그리고 횡단시간 등으로 이동류 i 가 주어진 최소 (G^i_{\min}) 및 최대녹색신호시간 (G^i_{\max}) 조건 ($G^i_{\min} \leq g_{ik} \leq G^i_{\max}$)을 만족시키기 위해서는 동일 이동류에 대해서 신호시간이 연속되는 경우 마지막 시간대까지 누적된 녹색시간에 대해서만 적용되어야 한다. 최소녹색신호시간 조건은 반드시 필요한 조건이나 최대녹색신호시간 조건은 제약이 필요한 경우에만 적용하면 된다.

$$g_{ik-1} \geq m\alpha \tag{11-1}$$

$$g_{ik-1} \leq G^i_{\max} \alpha \tag{11-2}$$

$$g_{ik-1} \geq G^i_{\min} \alpha - G^i_{\min} (1 - \xi_{ik}) \tag{11-3}$$

$$g_{ik-1} \leq G^i_{\max} \alpha + G^i_{\max} (1 - \xi_{ik}) \tag{11-4}$$

여기서, $m =$ 아주 작은 수

식(12)에 의해 g_{ik-1} 은 다음 단계의 신호조건에 따라, 첫째, $g_{ik-1} = 0$ ($\alpha = 0$)이면 신호가 바뀌는 것에

관계없이 $g_{ik-1} = 0$

둘째, $g_{ik-1} > 0$ ($\alpha = 1$)인 경우

신호가 바뀌게 되면 : $G^i_{\min} \leq g_{ik-1} \leq G^i_{\max}$,

신호가 지속되면 : $0 \leq g_{ik-1} \leq G^i_{\max}$

N. 모형적용

제시된 모형이 시간대별 이동류별 교통량 변화에 따라 실시간 신호제어를 적절히 수행하는지를 평가하기 위해 독립교차로에 적용하였다. 적용교차로는 4지교차로이고 모든 접근로는 직진과 우회전 공용차로 1개 차로와 좌회전 전용 1개 차로를 갖는 것으로 간주하였다. 포화교통량은 2200대/초로 간주하였고, 이동류 번호는 NEMA 체계를 따랐다. ΔT 는 5초로 설정하였는데 시간대별로 이동류별로 진입하는 교통량은 <표 2>와 같다. 그리고 초기 신호상태변수는 모두 녹색신호시간으로, 초기 대기차량은 모두 0으로 간주하였다. 그리고 최소녹색시간 변화에 따른 영향을 파악코자 최소녹색시간을 5초, 10초 두 가지 경우로 구분하였다. 선형계획법에 의한 모형은 널리 활용되고 있는 선형계획프로그램인 LINDO Package를 이용하여 해를 구하였다.

모형적용결과 최소녹색시간이 5초, 10초인 경우 산정된 신호상태변수는 각각 <표 3>과 <표 4>와 같다. 이들 표에서 0은 녹색시간으로 모든 단계에서 상충이 발생되지 않는 이동류들에게만 녹색시간이 할당되었다. <표 3>은 시간분할 크기와 최소녹색시간이 5초이므로 5초 현시도 발생되고 있으나 <표 4>의 경우는 최소녹색시간이 10초이므로 모두 10초 이상 현시로 나타났다. 신호시간 할당 순서에 대해서 살펴보면 1단계에서는 도착교통량이 가장 큰 이동류 1, 3, 6 중에서 동시 진행이 가능한 이동류 1, 3에 녹색시간이 할당되었다. 2단계에서는 1, 2단계에서 도착교통량이 가장 큰 이동류 2, 4에 녹색시간이 할당되어 매 단계마다 전 단계의 대기차량과 현 단계 도착차량에 의해 산정되는 총 지체시간을 최소화하는 이동류 조합에 녹색시간이 할당되었다.

최소녹색시간 변화에 따른 지체시간을 살펴보면 1단

<표 2> 시간대 이동류별 진입교통량

시간대 이동류	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	0	1	2	0	2	0	1	1	1
2	1	1	0	1	0	2	1	0	0	1
3	2	0	0	1	2	2	0	0	1	0
4	1	2	0	2	0	1	2	0	0	0
5	0	0	2	1	1	0	0	2	1	0
6	2	1	0	0	1	2	1	0	0	0
7	1	0	0	2	0	1	0	0	2	0
8	0	1	2	0	1	2	1	2	0	0

〈표 3〉 신호상태 (최소녹색시간: 5초)

시간대 이동류	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
4	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
6	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1
7	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
8	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1

〈표 4〉 신호상태 (최소녹색시간: 10초)

시간대 이동류	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1
7	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1

〈표 5〉 지체시간(최소녹색시간:5초) (대·초)

시간대 이동류	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.0	0.0	2.5	10.0	15.0	20.0	25.0	27.5	29.4	23.6
2	1.3	1.9	0.6	2.5	5.0	10.0	17.5	20.0	20.0	22.5
3	0.0	0.0	0.0	2.5	10.0	20.0	25.0	25.0	24.4	16.1
4	1.3	4.4	5.0	8.8	13.8	16.3	23.8	28.8	28.8	28.8
5	0.0	0.0	5.0	9.4	4.4	0.0	0.0	5.0	12.5	15.0
6	3.8	10.0	9.4	5.0	3.1	1.3	1.3	1.3	0.0	0.0
7	1.3	2.5	2.5	4.4	5.0	6.3	5.6	1.3	5.0	10.0
8	0.0	2.5	6.9	7.5	8.8	13.1	9.9	2.4	0.0	0.0

〈표 6〉 지체시간(최소녹색시간:10초) (대·초)

시간대 이동류	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.0	0.0	1.3	7.5	12.5	17.5	22.5	25.0	30.0	31.9
2	1.3	5.0	4.4	0.6	0.0	5.0	12.5	15.0	15.0	17.5
3	0.0	0.0	0.0	2.5	10.0	20.0	25.0	25.0	27.5	26.9
4	1.3	7.5	9.4	3.6	0.5	2.5	10.0	15.0	15.0	15.0
5	0.0	0.0	5.0	12.5	14.4	6.9	0.0	5.0	12.5	15.0
6	3.8	10.0	12.5	12.5	15.0	22.5	26.9	18.6	5.5	0.0
7	1.3	2.5	2.5	7.5	9.4	3.1	0.0	0.0	5.0	10.0
8	0.0	2.5	10.0	15.0	17.5	25.0	29.4	26.1	15.9	7.0

계는 모두 도착차량이 가장 큰 이동류에 동일하게 녹색 시간이 할당되어 지체시간이 동일하게 나타났지만 그 이후에는 시간분할이 5초인 경우가 10초인 경우보다 교통량 변화에 더 민감하게 반응 할 수 있어 대체로 지체시간이 작게 나타났다. 이로 인하여 최소녹색시간이 작을수록 실시간 신호운영에 따른 효과가 크다는 것을

알 수 있다. 10단계에 걸쳐 총 50초 동안 교차로에서 발생된 평균지체시간은 최소녹색시간이 5초인 경우가 11.6 초/대, 10초인 경우가 13 초/대로 나타났다.

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 아주 작은 시간대로 시간을 분할하여 시간대별로 신호상태변수와 신호제어변수로 신호상태를 결정할 수 있는 동적 신호제어 알고리즘을 제시하였다. 본 모형은 기존의 모형들보다 신호상태 변화에 따른 단계별 용량을 적절하게 산정 해낼 수 있어 동적신호계획을 보다 더 효율적으로 산정 할 수 있다. 제시된 모형은 BMILP모형으로 매 단계별로 전 단계의 신호상태와 진입교통량에 따라서 지체시간을 최소화해주는 신호제어변수를 산정해 내게 된다. 모형적용 결과에 따르면 본 모형은 단계별로 지체시간을 최소화해주는 현상을 적절하게 산정해 주었다. 따라서 실시간신호제어 등 첨단교통관리(ATMS)에 적용될 경우 그 효과가 기대된다고 할 수 있다. 그러나 시간분할 크기별 검지기 DATA의 신뢰성에 차이가 있으므로 신뢰성있는 DATA 수집체계 및 적절한 시간대 크기 등에 대한 연구 결과가 제시될 필요가 있다. 그리고 본 독립교차로 적용 모형을 교통축이나 교통망에 적용할 수 있도록 확장해 나가야 할 것이다.

참고문헌

1. Wann-Ming Wey and R. Jayakrishnan (1997), "A Network Traffic Signal Optimization Formulation With Embedded Platoon Dispersion Simulation" 76th Annual Meeting of the Transportation Research Board.
2. Lowrie P.R.(1982), "SCATS Principles, methodology, algorithm" IEE Conf. on Roan Traffic Signalling, IEE Publication 207, England, London.
3. Robertson D.I. and Bretherton R.D. (1991), "Optimizing Networks of Traffic Signals in Real-Time: SCOOT Method" IEEE Trans. on Vehicular Technology, 40(1).
4. Henry J.J., et al. (1983), "The PROLYN real time traffic algorithm" 4th IFAC-IFIP-IFORS

- Conference on Control in Transportation Systems, Germany, Baden-Baden 307.
5. Gartner N.H. et al. (1992), "Evaluation of Optimized Policies for Adaptive Control Strategy" Transportation Research Board, Washington, D.C.
 6. Dunne, M.C., Potts, R.B.(1964), Algorithm for Traffic Control, Oper. Res.
 7. Kim, Youngchan(1990), Development of Optimization Models for Signalized Intersections During Oversaturated Conditions, Ph. D. Dissertation, Texas A&M University.
 8. Cohen S.L. Cohen.(1983), Concurrent Use of MAXBAND and TRANSYT Signal Timing Programs for Arterial Signal Optimization, Transportation Research Record 906, pp.81~84.
 9. TRB (200), "Highway Capacity Manual".

✉ 주 작 성 자 : 신연교
✉ 논문투고일 : 2004. 10. 13
 논문심사일 : 2004. 10. 29 (1차)
 심사판정일 : 2004. 10. 29
✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30