

■ 論 文 ■

차량과 보행자 동시신호최적화모형 개발 연구

A Signal Optimization Model Integrating Traffic Movements and Pedestrian Crossings

신 언 교

((주)한국해외기술공사 상무)

김 주 현

(안양대학교 도시정보공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 문제제기
 - III. 모형구축
 - 1. 신호시간 산정
 - 2. 신호현시순서 산정
 - 3. 목적함수
 - IV. 모형적용 및 평가
 - V. 결론 및 제언
- 참고문헌

Key Words : 단일횡단보도, 이중횡단보도, 차량이동류, 주 대기차량, 부 대기차량

요 약

기존 신호최적화모형에서 횡단시간은 직진신호시간에 대한 최소녹색신호시간으로 분석가에 의해 외부에서 주어지게 된다. 이로 인하여 실제로 차량이동류들에 대한 신호시간이 교통량/포화교통량 비에 의해 적절하게 배분되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 횡단시간을 차량이동류와 동등한 이동류로 간주하여 이들을 동시에 최적화하는 신호최적화모형을 혼합정수선형계획법(BMILP)으로 제시하였다. 이를 위하여 차량 및 보행자 이동류들이 교차로를 상충없이 통과할 수 있도록 하는 선형제약조건들과 목적함수들을 구축하였다. 제시된 모형은 적색시간에 발생하는 주 대기차량과 대기차량이 소거되는 동안에 대기차량 후미에서 발생하는 부 대기차량으로 구분하여 이들에게 발생하는 지체시간의 상대적인 크기를 반영해주는 대기차량을 모형화하고 이를 최소화해 주는 차량 및 보행자를 위한 신호시간을 산정해주게 된다. 횡단시간과 접근로에서의 횡단보도 수에 따라 구분된 시나리오들에 대한 모형 적용 결과 기존 TRANSYT-7F 보다 신호주기에 대한 비율이 작으면서도 큰 횡단시간을 얻을 수 있었다. 그리고 시뮬레이션 결과 TRANSYT-7F 적용시보다 지체시간이 감소되는 것으로 나타났으며 횡단시간이 클수록 그 감소효과가 큰 것으로 나타났다.

I. 서론

전체 교통량 및 좌회전 교통량 비율은 신호동이 설치된 교차로의 서비스수준에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 좌회전 처리를 위한 적절한 현시순서와 차량 이동류별 신호시간은 매우 중요시 되고 있다. 그러나 횡단보도는 신호교차로의 서비스수준에 지대한 영향을 미치고 있음에도 교통량에 비하여 등한시되고 있다. 이로 인하여 TRANSYT-7F 등 신호최적화모형에서는 횡단신호시간이 직진신호시간에 대한 최소녹색신호시간 개념으로 고려되고 있다. 최근에는 교통 혼잡의 가중으로 주요 교차로에 이중횡단보도들이 많이 설치되어 횡단신호시간도 매우 복잡해져 가고 있다. 특히 단순입체교차로에 존재하는 평면교차로의 경우에도 횡단보도가 있는 경우에는 직진교통량이 거의 없는데도 횡단신호시간 이상의 신호시간을 주어야 하므로 교차로 지체시간이 증가되고 입체효과가 절감되기도 한다. 또한 좌회전포켓 제공이 불가하여 동시신호로 운영되는 교차로의 경우에는 횡단신호시간에 의한 제약이 모든 현시에 주어지게 되므로 신호운영의 효율성이 크게 저하될 수 있다. 한편, 보행자가 많은 경우는 전방향횡단보도를 설치하는 경우가 보행자뿐만 아니라 차량소통에도 유리한 경우가 발생할 수도 있다. 따라서, 이러한 모든 경우를 고려하여 차량 및 보행자 신호시간을 동시에 최적화하기 위해서는 이러한 횡단신호도 별도의 이동류로 간주하여 차량이동류와 통합하여 최적화가 이루어져야만 한다. 따라서 본 연구에서는 횡단신호시간을 별도의 이동류로 간주하여 다른 교통류들과 동일하게 고려하여 차량 및 횡단신호시간을 동시에 최적화할 수 있는 신호최적화모형을 구축하고자 한다.

II. 문제제기

횡단신호시간이 특정 직진신호의 최소녹색시간으로 할당될 경우 발생하는 문제점은 크게 두가지로 살펴볼 수 있다. 첫째, 횡단보행시간이 현시율(교통량/포화교통량)에 따라 적정하게 배분되는 직진신호시간보다 큰 경우에는 적정신호시간보다 큰 직진신호시간이 할당되게 된다. 이로 인하여 신호주기가 커지게 되고 지체시간이 증가하게 된다. 둘째, 신호현시순서 패턴에 따라 횡단신호는 연속되는 수개의 차량 현시에 걸쳐 진행이 가능하다. 이런 경우 수개의 차량 현시에 걸쳐 횡단신

호시간을 배분하면 신호시간의 효율적인 배분은 물론 신호주기를 크게 증가시키지 않을 수 있다. 특히, 펠리칸식 횡단보도가 설치된 경우는 더욱 더 그러하다. 이런 경우 기존 방법으로는 다양한 신호현시 조합을 감안하여 시행착오에 의하여 적정 현시순서를 산정해야 하는데 이에 따라 소요시간이 상당히 필요할 뿐만 아니라 최적 현시순서를 찾아낸다는 것은 매우 어렵다. 이러한 현시순서는 수 개의 교차로가 연동으로 제어되는 교통축의 경우에는 더욱 더 중요하게 되는 반면에 적정 현시순서를 시행착오에 의해 찾아낸다는 것은 거의 불가능하게 된다. 따라서 횡단신호시간을 해당 직진 이동류에 대한 최소녹색신호시간으로 할당하는 기존 방식의 신호최적화로는 교차로의 서비스수준을 향상시키는 데 한계가 있다고 할 수 있다.

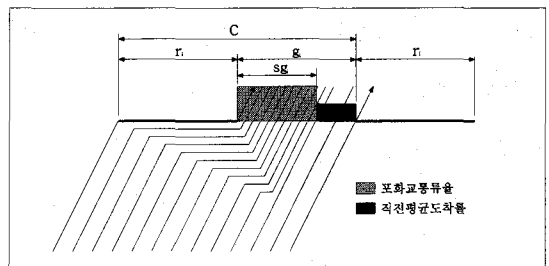
III. 모형구축

본 연구에서 제시되는 모형은 횡단보도를 차량 이동류와 동일하게 간주 하여 신호시간을 최적화하는 선형 계획법모형(BMILP, Binary Mixed Integer Linear Programing)으로 구체적인 모형은 다음과 같다.

1. 신호시간 산정

<그림 1>과 같이 비포화교통류 상태의 교차로 정지선에서 이동류(i)가 녹색신호시간이 시작되면 적색시간 동안(r_i) 신호를 대기하던 대기차량이 소거되고 나머지 녹색신호시간 동안에는 도착되는 차량들이 대기없이 교차로를 통과하게 된다.

따라서 녹색신호시간(g_i)은 대기차량이 소거되는 대기차량소거시간(포화교통류(s_i)) 차량진행 시간대(sg_i)과 나머지 녹색시간(평균도착률(q_i)) 진행시간대:



<그림 1> 정지선에서의 차량도착·출발패턴

$g_i - sg_i$)로 나누어진다.

〈그림 1〉과 같이 차량이 일정하게 도착되고, 비포화 교통류이고, 교통량이 V_i (대/시)인 이동류가 수 개의 차로를 이용할 경우 차로이용률은 동일하다고 가정하면 이동류별로 한 신호주기(C)에 걸쳐 적색시간 동안에 발생하는 대기차량(Q_i)과 대기차량소거시간은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$sg_i = \frac{q_i(C - g_i)}{n s_i} \quad (1)$$

여기서, $q_i = \frac{V_i}{3600}$ (대/초)

비포화상태를 유지하기 위해서는

$$q_i C \leq s_i sg_i + q_i(g_i - sg_i) \quad (2)$$

또한, 신호시간이 비포화상태로 운영되게 하기 위하여 교통량/용량(q/c)을 0.95이하로 한정하도록 다음 조건식을 추가하였다.

$$r_i \leq r_{i, \max} \quad (r_{i, \max} = C - \frac{V_i C}{0.95 s_i}) \quad (3)$$

신호시간외에 신호주기도 교차로의 용량 및 서비스 수준에 영향을 주기 때문에 적절한 값으로 최적화되어야 한다. 본 모형에서는 Webster(1966)가 제시한 비포화상태의 교통흐름을 보장해주는 신호주기(C_m)보다 크고 지체최소주기(C_0)를 포함하는 범위 내에서 최적의 신호주기가 산정되도록 하였다.

$$C_{\min} \leq C \leq C_{\max} \quad (4)$$

$$C_m = \frac{L}{1 - Y} \quad (5)$$

$$C_0 = \frac{5 + 1.5L}{1 - Y} \quad (6)$$

횡단신호시간은 도로용량편람에서 제시된 다음식에 의해 산정된다.

$$t = 3.2 + \frac{L}{S_p} + (0.81 \frac{N_{ped}}{W_E}) \quad (7)$$

여기서, t_p = 총횡단시간(초), L = 횡단보도길이(m), S_p = 보행자평균속도(m/sec), N_{ped} = 한 주기동안 횡단한 보행자(인), W_E = 유효 횡단보도 폭(m), 3.2 = 보행자 start-up time(초)

이러한 횡단신호시간을 모형에 반영하는 방법에 따라 차량직진신호시간이 횡단신호시간을 만족시키도록 제약하는 '모형 1' 과 아무런 제약을 하지 않는 '모형 2' 등 두가지 모형으로 구분하였다.

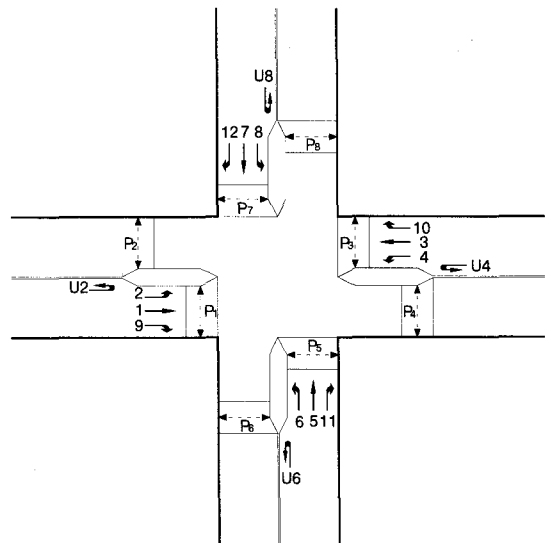
2. 신호현시순서 산정

차량통행은 횡단보도, 공용차로 및 좌/우회전 전용차로 유무 등에 따라 달라진다. 우회전 이동류는 직진 이동류에 포함시킬 수 있으나 우회전 전용차로가 있는 경우나 횡단보도가 있는 경우에는 우회전을 독립된 이동류로 구분하여야 한다. 이중횡단보도가 설치된 교차로에서의 이동류는 〈그림 2〉와 같이 정의하였다.

이중횡단보도가 아닌 경우에는 각각 접근로별로 두 개 횡단보도조건을 통합하면 된다.

(예 : 〈표 1〉에서 $P12 = P1 + P2$)

즉, $P12$ 는 $P1$ 의 상충조건과 $P2$ 의 상충조건을 동시에 만족시켜야 한다. 신호시간은 각 이동류(i)별 녹색 신호 시작시간(S_i)과 녹색 진행시간(g_i)을 결정변수



〈그림 2〉 이동류 구분도

〈표 1〉 이동류간 상충 발생 여부 (○:상충발생, ×:상충 미발생)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	u2	u4	u6	u8	P12		P34		P56		P78	
																	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	×	×	○ (○)	○	○	○	○	○	×	×	○	×	×	○	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×
2	×	×	○	×	○	○	○	○	×	○	×	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	○
3	○ (○)	○	×	×	○	○	○	○	×	×	×	○	○	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×
4	○	×	×	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	○	×	×
5	○	○	○	○	×	×	○ (○)	○	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×	○
6	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×
7	○	○	○	○	○ (○)	○	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	○	○	×
8	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×
9	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×
10	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○
11	○	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×
12	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×
u2	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
u4	○	×	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
u6	×	×	×	○	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
u8	×	○	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
P12	P1	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	P2	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
P34	P3	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	P4	○	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
P56	P5	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	P6	×	×	×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
P78	P7	×	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	P8	×	○	×	×	○	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

로 도입하여 최적화가 이루어지며, 동일현시에 상충 없이 이동이 가능한 이동류와 이동이 불가능한 이동류로 구분하여 현시순서 최적화가 이루어진다. 차량 및 보행 이동류간 상충발생 여부는 〈표 1〉과 같다. 〈표 1〉에서 ()는 직진과 좌회전 공용차로(share lane)인 경우에만 해당되는데, 이는 직진과 좌회전 차량간 차로 차단 현상이 발생되지 않도록 해준다.

이동류(*i*)와 이동류(*j*)간의 신호시작과 신호진행시간은 다음 수식에 의해서 정해지게 된다.

$$S_i + g_i + Y_{ij} \leq S_j \text{ and}$$

$$S_j + g_j + Y_{ij} \leq S_i + C. \text{ 또는}$$

$$S_i + g_i + Y_{ij} \leq S_j + C \text{ and}$$

$$S_j + g_j + Y_{ij} \leq S_i$$

여기서, *i*이동류와 *j*이동류가 동일현시에 상충 없이 이동할 수 없는 이동류이면, Y_{ij} 는 황색시간 등으로 $Y_{ij} \geq 0$,

*i*과 *j*이동류가 동일현시에 상충 없이 이동할 수 있는 이동류이면, $Y_{ij} =$ 아주 큰 음의 수

앞의 두 개의 조건식은 이진변수(a_{ij})를 사용하여 다음과 같이 두 개의 수식으로 된다.

$$S_i + g_i + Z \times Y_{ij} - a_{ij} C \leq S_j$$

$$S_j + g_j + Z \times Y_{ij} + a_{ij} C \leq S_i + C$$

윗 식을 선형 식으로 변환하기 위하여 양변을 C로 나누면 다음과 같은 선형식이 되고 모든 시간변수들은 신호주기에 대한 비율로 된다.

$$S_i + g_i + Z \times Y_{ij} - a_{ij} \leq S_j \tag{8}$$

$$S_j + g_j + Z \times Y_{ij} + a_{ij} \leq S_i + 1 \tag{9}$$

여기서 차량이동류의 경우에는 한 주기 내에 한번만 녹색시간이 주어져야 하기 때문에 다음 조건식을 만족시켜야 한다.

$$S_{n1} + g_{n1} \leq 1 \quad (10)$$

$$g_{n1} + r_{n1} = 1 \quad (11)$$

3. 목적함수

신호최적화를 위한 목적함수는 모형에 따라 지체시간 및 정지수 최소화, 신호주기 최소화, 여유용량 최대화 등 다양하다. 이들 중에서 선형계획법 모형에서는 지체시간은 비선형식이므로 후자들이 많이 사용되어 왔다. 본 모형에서는 각 이동류별로 발생하는 대기차량을 최소화하여 지체시간을 최소화하는 것을 목적함수로 선정하였다.

한 주기 동안에 발생하는 대기차량은 다음 <그림 3>과 같이 적색시간동안에 발생하는 주 대기차량(Q_1)과 녹색시간 동안에 대기차량이 소거될 때까지 대기차량 후미에서 발생하는 부 대기차량(Q_2)으로 나눌 수 있다.

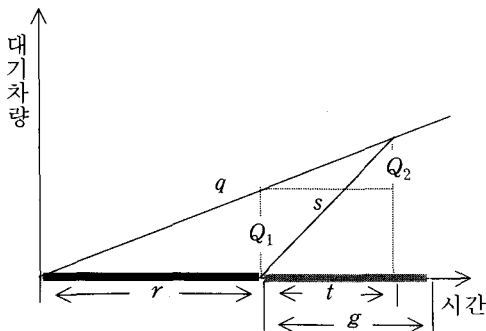
적색시간동안 발생하는 Q_1 은 다음과 같다.

$$Q_1 = qr \quad (12)$$

대기차량 소거시간동안 도착되는 Q_2 는 다음과 같다.

$$Q_2 = qt = \frac{q^2 r}{(s-q)} \quad (13)$$

적색동안에 발생하는 대기차량들이 지체하는 시간은 대기차량 소거시간동안에 도착되는 차량들이 지체하는 시간보다 크다. 따라서 이러한 두가지 대기차량에 의해 발생하는 평균지체시간에 대한 상대적 크기를 감안할 수 있도록 보정계수 (k_1 , ($0 \leq k_1 \leq 1$))을 도입하여 다



<그림 3> 신호운영에 따른 정지수

음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Min \quad k_1 Q_1 + (1 - k_1) Q_2 \quad (14)$$

V. 모형적용 및 평가

모형 적용을 위한 4지 교차로의 모든 접근로는 1개의 좌회전 전용차로, 2개의 직진전용 및 1개의 직진과 우회전 공용차로를 갖는 것으로 간주하였고 모든 접근로에 횡단보도가 있는 것으로 간주하였다. 그리고 횡단보도는 단일 횡단보도인 경우와 2중 횡단보도인 경우로 구분하였다. 포화교통류율은 좌회전 1800대/초, 직진 2000대/초 로 간주하였다. 본 연구에서는 접근로별로 전체교통량 1800대/시, 좌회전 교통량 비율 20% 및 이중횡단보도시 반쪽 횡단신호시간 15분, 25분으로 구분하여 시나리오를 작성하였다. 각각의 반쪽 횡단보도의 경우가 단일횡단보도시에는 횡단시간이 2배로 각각 30분, 50분으로 간주된다.

모형적용 결과는 <표 2>와 같다. <표 2>에서와 같이 모든 모형들이 횡단시간이 25초인 경우가 15초인 경우보다 신호주기가 증가되었다. 현시순서는 단일횡단보도 15초 경우가 모든 모형에 걸쳐 동일하게 산정되었고, 단일횡단보도는 모형 1과 모형 2의 현시순서가 동일하게 최적화 되었다. 이중횡단보도 15초인 경우는 모두 다르게 산정되었고 25초인 경우는 TRANSYT-7F 와 모형 2가 동일하게 산정되었다.

<표 2>에 의하면 단일횡단보도에서 제시된 모형은 횡단시간(직진 신호시간)을 TRANSYT-7F보다 더 크게 확보해주면서 신호주기에 대한 비율은 더 작은 것으로 나타나 횡단시간을 충분히 확보하면서 차량소통에도 효율적인 신호시간이 산정되었다. 그리고 모든 현시에 횡단이 가능한 이중횡단보도의 경우에는 현시별 신호주기에 대한 비율의 차이가 TRANSYT-7F보다 작게 산정되어 보다 더 효율적인 횡단시간을 산정해주는 것을 알 수 있다.

그리고 모형평가를 위하여 앞에서 제시된 신호최적화 결과들을 Micro Simulation 모형으로 널리 활용되고 있는 TSIS Package를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과인 <표 3>과 <표 4>에서와 같이 본 모형 적용 결과 대체로 지체시간이 줄어드는 것으로 나타나 차량소통도 좋아지는 것으로 나타났다.

지체시간 감소 효과는 이중횡단보도 기준 최소녹색

〈표 2〉 신호최적화 결과 (초)

구분	모형	1현시	2현시	3현시	4현시	주기	
나노신호제어방식	횡단시간 30초	T7F					
			24 (22)	31 (28)	24 (22)	31 (28)	110 (100)
		모형1					
		27 (22.5)	33 (27.5)	27 (22.5)	33 (27.5)	120 (100)	
	모형2						
		27 (22.5)	33 (27.5)	27 (22.5)	33 (27.5)	120 (100)	
나노신호제어방식	횡단시간 50초	T7F					
			15 (12)	50 (38)	14 (11)	51 (39)	130 (100)
		모형1					
		40 (22)	53 (28)	40 (22)	53 (28)	186 (100)	
	모형2						
		40 (22)	53 (28)	40 (22)	53 (28)	186 (100)	
이중횡단방식	횡단시간 15초	T7F					
			24 (22)	31 (28)	24 (22)	31 (28)	110 (100)
		모형1					
		23 (23)	27 (27)	27 (27)	23 (23)	100 (100)	
	모형2						
		27 (27)	23 (23)	23 (23)	27 (27)	100 (100)	
	횡단시간 25초	T7F					
			32 (23)	39 (28)	30 (21)	39 (28)	140 (100)
		모형1					
		32 (27)	32 (27)	28 (23)	28 (23)	120 (100)	
	모형2						
		23 (23)	27 (27)	23 (23)	27 (27)	100 (100)	

주) () = 신호주기에 대한 %

시간이 15초 보다는 25초 인 경우가, 이중횡단보도보다는 단일횡단보도의 경우가 큰 것으로 나타났다. 단일횡단보도 25초의 경우 TRANSYT-7F 216.6초/대에서 72.1초/대로 144.5초가 줄어들어 효과가 가장 큰 반면 이중횡단보도 15초의 경우는 세 가지 모형이 거의 비슷하게 나타났다.

〈표 3〉 지체시간 (초/대)

구분	반폭 최소녹색시간 15초				
	T7F(A)	모형1(B)	모형2(C)	A-B	A-C
단일 횡단보도	186.7	51.2	51.2	135.6	135.6
이중 횡단보도	46.5	47.4	46.5	-0.9	0.0

〈표 4〉 지체시간 (초/대)

구분	반폭 최소녹색시간 25초				
	T7F(D)	모형1(E)	모형2(F)	D-E	D-F
단일 횡단보도	216.6	72.1	72.1	144.5	144.5
이중 횡단보도	56.1	54.1	48.0	2.0	8.1

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 횡단신호시간을 차량 이동류들과 동일하게 독립된 이동류들로 간주하여 동시에 차량 및 보행신호시간을 최적화하는 선형 모형을 제시하고 독립교차로에 적용하고 평가하였다. 모형 적용 결과 본 모형은 신호시간을 적절히 산정해주는 것으로 나타났고 TRANSYT-7F보다 보행시간을 더 많이 제공해주는 것으로 나타났다. 독립 4지 교차로에 모형 평가 결과 본 모형의 적용으로 보행자를 위한 횡단시간의 증가 뿐만 아니라 차량의 지체시간도 크게 줄여주는 것으로 나타났다. 그러나 횡단신호시간이 작은 경우에는 그 효과가 미미한 것으로 나타나 본 모형은 횡단신호시간이 큰 교차로들에 적용효과가 큰 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 제시된 모형을 독립교차로에만 적용해 보았지만 교통축을 대상으로 연동신호에 적용할 경우 그 효과는 훨씬 커질 것으로 판단된다. 따라서 향후에는 교통축에 대한 적용 평가 및 보행자들의 통행패턴에 맞게 횡단신호를 연동화 하는 연구와 보행자들의 지체시간을 반영하는 모형 개선이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 대한교통학회 (2001), "도로용량편람".
2. 건설교통부 (2000), "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침".
3. C. K Wong and S. C Wong (2003), "Lane based Optimization of Signal Timings for Isolated Junctions" Transportation Res. Part

- B, pp.63~84.
4. Importa G. and Cantarella G. E. (1984), "Control System Design for An Individual Signalized Junction" Transportation Res. 18B(2), pp.147~167.
 5. Schrage L. (1986), "User's Manual for Linear, Integer and Quadratic Programming With LINDO" 3rd ed, The Scientific Press, Redwood City, Calif.
 6. Wallace, C. E. Courage, K. G. Hadi, M. A. and Gan, A. C. (1998), "TRANSYT-7F Users Guide" FHWA, U.S Department of Transportation.
 7. Webster F. V. (1958), "Traffic signal settings" Road Research Technical Paper 39.
 8. Webster F. V. and Cobbe B. M. (1966), "Traffic signals" Road Research Technical Paper 56.
 9. TRB (200), "Highway Capacity Manual".

✉ 주 작 성 자 : 신언교

✉ 논문투고일 : 2004. 10. 13

논문심사일 : 2004. 10. 29 (1차)

심사판정일 : 2004. 10. 29

✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30