

## 보행자 작동신호기 설치기준 정립을 위한 적정 차량 및 보행자 교통량 추정모형

윤승섭 · 양재호 · 김남석\*  
한양대학교 교통물류공학과

### Models for Determining the Vehicle and Pedestrian Volumes for the installation of Pedestrian Pushbuttons

YOON, Seung Sup · YANG, Jae Ho · KIM, Nam Seok\*

Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

#### Abstract

The main reason to install pedestrian pushbuttons is improving traffic operations. The current guideline for the installation of signal systems with pedestrian pushbuttons is car-oriented. It is difficult to clearly understand the guideline because there isn't an in-depth study to compare the pros and cons of the pedestrian- and vehicle-oriented methods in terms of waiting time. Thus, this study aims to estimate the waiting times of pedestrians and vehicles. The two delay times are compared considering the hypothetical circumstances such as geometry, pedestrian crossing time, pedestrian/vehicle counts and arrival distribution. The results show that when the pedestrian traffic volume exceeds 97 ped/h in the case of a two-lane road (one lane in each direction) the pushbutton system is effective and beneficial to pedestrians. It means that the total waiting time of pedestrians is less than the one of vehicles. Additional four scenarios are designed and tested by varying the number of lanes and design speeds. In conclusion, the pushbutton signal is more beneficial for pedestrians when the number of pedestrians is less than or equal to 85, 70, and 70 ped/h for the three-lane scenario, the four-lane with the design speed of 80km/h scenario, and the four-lane with the design speed of 100km/h, respectively.

일부 신호 횡단보도에서는 교통 운영의 효율을 위해 보행자 작동신호기를 설치한다. 현재 보행자 작동신호기의 설치기준은 보행자 수가 적은 단일로 횡단보도에서 설치하도록 제시되어 있다. 또한 해당 기준은 차량을 중심으로 만들어진 것으로 보행자 측면의 고려도 필요하다. 이러한 설치기준은 객관적으로 판단하기 어려우므로 공학적인 기준을 필요로 한다. 그러므로 본 연구는 보행자 교통량과 차량교통량에 따라 각각의 지체시간을 산출하고 보행자와 차량을 동등한 입장에서 비교하여 공학적인 설치기준을 정립하는 것을 목적으로 하였다. 지체시간 산출을 위해 도로의 설계기준에 따른 횡단구성, 보행자 녹색시간, 보행자와 차량의 균일 도착분포 시나리오를 가정하였다. 그 결과 양방향 2차로일 경우 보행자 교통량이 97인/시 이하일 경우 보행자 작동신호기의 효과가 있는 것으로 나타났으며 이 결과는 차량보다 보행자에게 유리한 교통량 기준이다. 4개의 차로 수 시나리오에 따라 양방향 3차로, 양방향 4차로(설계속도 80km/h, 100km/h)일 경우 각 85, 70, 70인/시 이하일 경우 보행자 작동신호기의 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### Keywords

crosswalk, equilibrium, pedestrian push-button, pedestrian delay, standards for installation, vehicle delay  
횡단보도, 적정 교통량, 보행자 작동신호기, 보행자 지체시간, 설치기준, 차량 지체시간

\*: Corresponding Author  
nskim@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5159, Fax: +82-31-536-8147

Received 4 March 2015, Accepted 21 July 2015

© Korean Society of Transportation  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

보행자가 거의 없는 단일횡단보도에서 고정식 신호기가 설치·운영됨에 따라 불필요한 차량지체가 발생할 소지가 있고, 그에 따라 보행자 총 대기시간이 비정상적으로 길어지는 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 우리나라에서는 보행교통량이 적은 지역에 보행자 작동 신호기를 설치하여 운영함으로써 지체 최소화를 위해 노력하고 있다.

경찰청에서 발행한 The Manual for Traffic Signal Install and Management(2011)에 의하면 “보행자 수가 적거나 일정시간대에만 보행자가 횡단할 경우에는 보행자 작동신호기를 설치 할 수 있다”라고 제시되어 있다. 그러나 이 기준은 공학적 분석에 의해 숫자로 표현된 설치 기준이 아니므로 보행자 작동신호기가 필요한 지점을 판단하기 어렵고, 직접 현장에 적용하고 설치하기 어려운 것이 현실이다. 그러나 그 보다 더 심각한 문제는 이러한 경찰청의 지침이 차량 소통을 보행자의 편의보다 더 우위에 둔 철학이 반영된 결과라는 점이다. 본 연구는 ‘보행자 1명의 기다림을 차량 1대의 기다림과 동등하게’라는 철학 위에서 전개되었다. 따라서, 본 연구에서는 보행자 작동 신호기의 설치 전후의 차량과 보행자의 대기 시간을 산정하고, 이를 기준으로 보행자 작동 신호기 설치의 기준을 제시하고자 한다.

### 2. 연구의 방법 및 흐름

본 연구는 분석 전제를 정립한 후 보행자작동신호기 주기(Push-Button Cycle)를 정의하고 보행자와 차량의 도착분포를 가정하여 보행자 지체시간, 차량지체시간을 산출하는 순서로 수행하였다. 연구의 방법 및 흐름을 그림으로 나타내면 Figure 1과 같다.

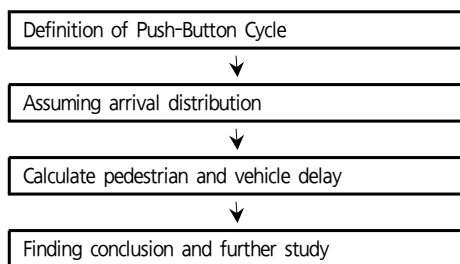


Figure 1. Study process

## 기존 문헌 고찰

### 1. 기존 설계지침 검토

교통 신호기 설치·관리 매뉴얼(Police Agency, 2011)에 제시되어 있는 보행자 작동신호기 설치 장소에 대한 기준에서 ‘신호기가 설치되어 있고, 보행자의 수가 적어 보행자 신호등을 설치할 필요성은 적으나 보행자가 반드시 도로를 횡단해야 하는 경우’라고 제시되어 있다. 단일로와 교차로에서의 권장 지침에서도 ‘평소 교통량이 많지 않은 지점, ‘보행자 작동신호기 설치로 주도로의 교통 혼잡이 크게 개선될 수 있고 부도로의 현시시간 단축으로 인한 악영향이 없을 것으로 예상되는 지점’ 등으로 표현되고 있다. 위와 같은 지침상 표현법들은 상황에 따라 달리 적용되어야 하는 이유 때문일 수도 있겠으나, 설치의 가능 여부는 객관적으로 판단하기 어려워 지침으로서의 효력이 약하다고 판단된다. 단일로와 교차로가 공통적으로 ‘기타 공학적으로 필요하다고 인정되는 지점’에 설치를 권장하고 있지만, ‘공학적’으로 판단하기 위한 숫자는 제시되어 있지 않다.

### 2. 기존 연구 고찰

Cresswell and Hunt(1979)는 신호가 없는 횡단보도에서의 통행의 행태를 시뮬레이션을 통해 모사했다. 통행행태가 다른 세 구간을 선정하여 차량과 보행자의 지체를 계산하였다. 그러나 보행자 작동신호기와 비교는 이뤄지지 않았다. 최근에는 Crociani and Vizzari(2014)가 신호가 없는 횡단보도와 신호가 있는 횡단보도, 그리고 보행자 작동신호기가 있는 횡단보도를 대상으로 시뮬레이션 모형을 구축하였다. 비신호 횡단보도에서 보행자 교통량이 많아짐에 따라 차량 밀도가 일정수준 이상일 때 차량교통량의 소통이 더더진다는 사실을 증명했으나, 보행자교통량을 연속변수로 사용치 않고 일곱 경우(1명/분부터 12명/분 까지 순차적으로 증가하는 시나리오)에 대해서만 분석을 시행하였고, 보행자의 총지체도 산출하지 않았다.

국내의 경우 Cho et al.(2005, 2007)이 국내 보행자 작동신호기 연구를 주도해왔다. 이 연구들은 차량 및 보행자 교통량에 따른 보행자 작동신호기의 효과 분석에서는 복수개의 연구대상지점을 선정하고 실제 차량 및 보행자교통량을 조사하여 보행자 작동 신호기의 효과를 검증하였다. 연구대상지점의 교통량과 보행자교통량을 5개

의 침투 시간 case로 나누어 차량지체를 산출하였다. 민감도 분석을 위한 시나리오는 차량교통량과 보행자교통량을 각각 100-7,000대/시, 10-400인/시의 범위 내에서 설정하였다. 민감도 분석을 시행한 결과 보행자 교통량이 90인/시 보다 많을 경우에는 보행자 작동신호기의 효과가 없는 것으로 나타났다. 위 과정에서의 민감도 분석은 본 연구의 차량교통량과 보행자 교통량에 따른 차량지체시간과 보행자 지체시간 산출방법과 유사하다.

기존 연구가 이미 일정부분 보행자 작동 신호기가 우월성을 보이는 기준 (일정 보행자 교통량)을 제시하는데 성공했으나, 이는 특정 지점의 데이터 수집을 통해 분석모형을 도출하였기 때문에 일반성이 다소 떨어 질 수 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구는 다음 장에서 보행자-차량의 교통량의 모든 상황에 (즉 보행자와 차량을 1대씩 증가시켜 구성) 보행자와 차량에 따른 보행자와 승용차의 손실시간을 비교가능한 방법론을 구축함으로써 일반적인 상황에 대한 묘사를 시도한다.

## 연구 방법론

### 1. 분석의 전제

본 연구의 가장 근본적인 전제조건은 차량의 지체시간과 보행자의 지체시간을 동일하게 바라보는 것이다. 과거 거의 모든 연구, 지침, 심지어 법률까지도 차량의 소통을 중심으로 보행자-차량의 신호체계의 우선순위를 정했던 경향이 있다. 차량의 소통은 차량의 지체시간으로 정량화되어 '차량 지체시간 최소화'를 '최적'으로 가정해왔다. 즉, 보행자 지체시간은 분석에서 무시되어온 경향이 있다. 물론 보행자의 지체를 경제적으로 환산하기에는 그 근거가 미약했고, 교통체계 말단의 일개 신호등의 설치를 위해 너무 미시적인 접근이 비경제적일 수도 있었다. 그런 차원에서 보행자 신호등 설치, 더 엄밀히 말하자면 '보행자' 작동 신호기의 설치를 위해 '보행자'를 배제한 그러한 접근이 계량경제학적 관점에서는 납득은 된다. 그러나, 차량운전자 1명의 지체시간과 보행자 1명의 지체시간은 원칙적으로 그 가치가 같아야 한다는 본 연구의 전제는 반드시 존중되어야 할 가치이며, 장래 보행자 관련 연구에서 심도있게 고려되어야 할 가치일 것이다.

분석의 대상이 되는 보행자 작동신호기는 단일로에 위치하는 경우이다. 차량은 단일로에서의 직진 차량만으로 구성되며 각각의 경우 용량상태일 때의 차두간격을 산출

하여 최대 값으로 결정하였다. 모든 차량은 최대 1회까지 횡단보도 전방에서 대기할 수 있다. 즉, 보행자 작동신호기의 작동으로 인해 동일 차량이 2회 이상의 신호 대기를 경험하여서는 안 된다는 것을 기본적인 전제로 한다.

기하구조는 양방향 2차로, 양방향 3차로, 양방향 4차로 (설계속도 80km/h), 양방향 4차로(설계속도 100km/h) 4가지의 경우로 나누어 분석하였다. 기하구조의 횡단구성은 측대 폭( $W_s$ ), 차로 폭( $W_{lane}$ ), 차선 폭( $W_{line}$ ), 중앙선 폭( $W_c$ )으로 이루어지며 각 차로수별로 횡단구성을 식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned} W_2 &= 2W_s + 2W_{lane} + W_c \\ W_3 &= 2W_s + 3W_{lane} + W_c + W_{line} \\ W_4 &= 2W_s + 4W_{lane} + W_c + 2W_{line} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

- $W_2$  : 양방향 2차로 도로의 폭
- $W_3$  : 양방향 3차로 도로의 폭
- $W_4$  : 양방향 4차로 도로의 폭
- $W_s$  : 측대 폭
- $W_{lane}$  : 차로 폭
- $W_{line}$  : 차선 폭
- $W_c$  : 중앙선 폭

식(1)을 도식화하여 표현하면 Figure 2와 같다.

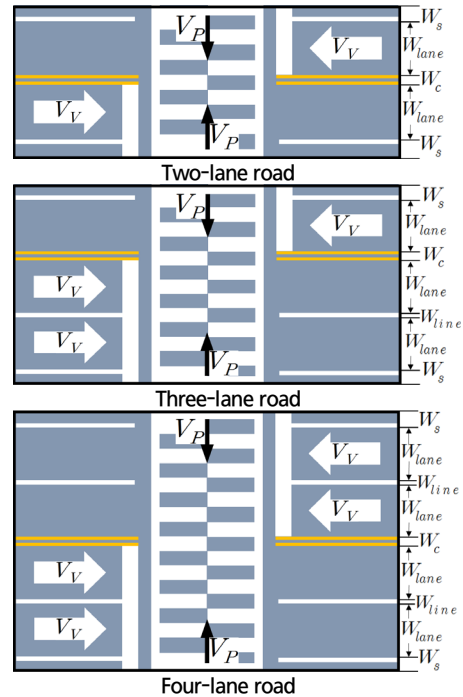


Figure 2. Lane scenario

**Table 1.** Premise of analysis

○ Analysis location : Single road  
 ○ Analysis time : 3,600s  
 ○ Crossing components (unit: m)

Scenario	Total	Width			
		Shoulder	Center line	Lane	Line
Two-lane road	$W_2$	7.45	1	0.45	6 0
Three-lane road	$W_3$	10.55	1	0.45	9 0.1
Four-lane road	$W_{4,80}$ $W_{4,100}$	14.70	1	1.5	12 0.2

- Vehicle  
 - Arrival distribution : Uniform distribution  
 - Maximum headway is set  
 - Every vehicle stops only one time  
 ○ Pedestrian green time

Scenario	Crossing distance (l)(m)	Walking speed (v)(m/s)	Initial approach time (s)	Pedestrian crossing time (s)	Pedestrian green time (s)
Two-lane road	7.45	1.0	7	8	15
Three-lane road	10.55	1.0	7	11	18
Four-lane road	14.70	1.0	7	15	22

- Restricted pedestrian green time  $T_{NG} = T_{SUD} + (H \times n)$

Scenario (km/h)	Pedestrian green time (s)	Max. number of waiting vehicle ( $N_V$ )	Start up delay time ( $T_{SUD}$ ) (s)	Headway (h)(s)	Restricted pedestrian green time ( $T_{NG}$ )(s)
Two-lane road	15	14	2.3	1.13	19
Three-lane road	18	18	2.3	1.00	21
Four-lane road(80)	22	14	2.3	1.80	26
Four-lane road(100)	22	13	2.3	1.64	26

분석에서는 Explanation for Rules of Road Infrastructure and Facility Standards(2009)에 제시된 지방지역 일반도로의 중앙분리대 최소 폭인 1.5m와 측대의 최소 폭인 0.5m를 적용하였다.

보행자는 횡단보도에서 최단거리로 횡단하며 횡단속도는 1.0m/s로 가정하였다. 이는 교통 신호기 설치 관리 매뉴얼의 보행자 신호계획에 따른 것이다. 보행자 최

**Table 2.** Four Scenarios in terms of number of lanes, pedestrian and vehicle volume

Scenarios number	Number of Lane	Pedestrian and Vehicle volume
1	Two-lane road	$1 \leq V_V$ (or $V_P$ ) $\leq 3,200$
2	Three-lane road	$1 \leq V_V$ (or $V_P$ ) $\leq 3,600$
3	Four-lane road (Design speed 80km/h)	$1 \leq V_V$ (or $V_P$ ) $\leq 2,000$
4	Four-lane road (Design speed 100km/h)	$1 \leq V_V$ (or $V_P$ ) $\leq 2,200$

소 녹색시간의 구성은 녹색고정시간을 기본 7초로 부여하고 보행자 횡단시간은 시나리오별 보행속도와 차로 폭을 고려하여 결정하였다. 보행자 녹색신호 등화 후 7초 이전에 도착한 보행자에 한하여 횡단할 수 있다.

예를 들어 보행자가 횡단보도에 도착했을 때 보행자 신호기가 적색일 때, 작동신호기를 누르면 3초간 황색신호가 주어지고 그 후에 녹색신호가 등화되면 횡단한다. 다른 경우 보행자가 도착했을 때 이미 보행자신호 7초 이상 지난 상황이라면, 보행자는 해당신호에 횡단할 수 없다. 만약 보행자가 보행자 녹색신호 등화 후 7초 이전에 도착했다면, 그 보행자는 곧바로 횡단한다.

보행자 녹색시간동안 1회 대기했던 차량들은 추가적인 신호대기를 경험하지 않게 하여야 하므로 보행자 녹색시간이 끝난 후에 정차했던 차량들을 통과시킬 수 있는 보행자 녹색불가시간 ( $T_{NG}$ )을 보행자 녹색시간과 차두시간을 고려하여 산출하였다.

차량과 보행자의 도착분포는 모두 균일분포로 가정하였다. 차로 수는 2차로, 3차로, 4차로의 경우로 구분하여 분석하였고, 4차로의 경우 설계속도를 두 가지(80km/h, 100km/h)로 제시하였다. 차로 폭이 달라짐에 따라 고려하는 보행자와 차량 수의 상한을 달리 하였다(KHCM, 2013). 위에서 가정한 분석의 전체를 정리하면 Table 1과 같다.

위에 언급한 기준에 의거하여 총 네 가지 시나리오를 Table 2와 같이 도출하였다.

본 연구에서는 3,600초의 분석시간동안 차량과 보행자가 균일분포로 도착한다고 가정하였고 차량도착분포와 보행자도착분포에 따른 차량지체와 보행자지체가 어떻게 변하는지 분석하였다. 위 사항을 현실적이라 표현하기에는 어려움이 있지만 본 연구에서 균일분포를 사용하는 이유는 보행자 작동신호기의 본질을 더욱 명확하게 이해하기 위함이다. 본 연구의 플랫폼을 활용한다면 차후 다양한 도착분포의 적용이 보다 용이할 것으로 판단된다.

**Table 3.** Calculation of push-button cycle

Variables	Two-lane road	Three-lane road	Four-lane road (80km/h)	Four-lane road (100km/h)
Yellow time ( $Y$ )(s)	3	3	3	3
Pedestrian crossing time ( $T_{PED}$ )(s)	15	18	22	22
Restricted pedestrian green time ( $T_{NG}$ )(s)	19	21	26	26
Push-button Cycle ( $C$ )(s)	37	42	51	51

황색시간 ( $Y$ ), 보행자 횡단시간 ( $T_{PED}$ ), 보행자 녹색불가시간 ( $T_{NG}$ )이 정해지게 되면 보행자 작동신호기는 시간에 따라서 Figure 3과 같이 진행된다. 보행자 도착이 충분할 경우, 보행자작동신호기의 시간도 일정한 패턴, 즉 주기(Cycle)의 형태를 띠게 된다. 따라서 황색시간, 보행자 횡단시간, 보행자 녹색불가시간의 합을 Push-button Cycle이라 정의하고 분석을 수행하였다. 각 차로별 보행자작동신호기 주기를 계산하여 표로 정리하면 Table 3과 같고, 도식화하면 Figure 3과 같으며, 식으로 정리하면 식(2)와 같다.

$$C = Y + T_{PED} + T_{NG} \quad (2)$$

여기서,

$C$  : Push-button Cycle(초)

$Y$  : 황색시간(초)

$T_{PED}$  : 보행자 횡단시간(초)

$T_{NG}$  : 보행자 녹색불가시간(초)

지금까지 정의한 변수들을 Table 4와 같이 정리하였다.

**Table 4.** Variables for analysis

Variables	Units	Meaning
$Y$	s	Yellow time
$v$	m/s	Pedestrian walking speed
$l$	m	Crossing distance
$s$	s	Pedestrian green time
$N_V$	veh	Max. number of waiting vehicles
$T_{SUD}$	s	Start up delay
$T_{PED}$	s	Pedestrian crossing time
$T_{NG}$	s	Restricted pedestrian green time
$C$	s	Push-button Cycle

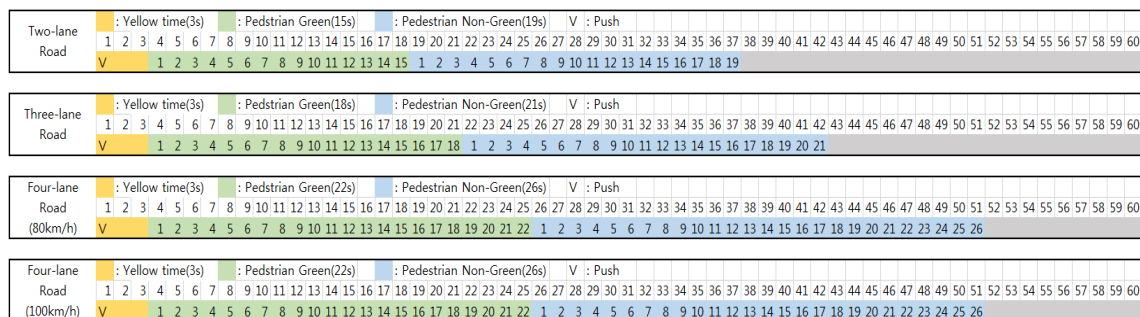
## 2. 분석 방법

지금까지 가정된 분석의 전제들과 정의된 변수들을 활용하여 차량교통량을 10대/시부터 각 시나리오의 포화교통량까지 10대 간격으로 변화를 주고, 보행자교통량 또한 10인/시부터 해당 시나리오의 차량의 포화교통량까지 10인 단위로 변화를 주며 차량지체시간과 보행자 지체시간을 산출하여 비교하였다. 그 결과 특이점이 보이는 구간을 상세히 분석하기 위하여, 추가적으로 차량교통량을 10대/시부터 각 시나리오의 포화교통량까지 10대 간격으로 변화를 주고, 보행자교통량 또한 10인/시부터 해당 시나리오의 차량의 포화교통량까지 10인 단위로 변화를 주며 차량지체시간과 보행자 지체시간을 산출하여 비교하였다.

## 분석

### 1. 보행자 지체시간 산출

보행자 지체시간( $D_p$ )은 분석의 전제에서 언급한 바



**Figure 3.** Diagrammatic expression of push-button cycle

와 같이 계산된다. 첫 번째로, 보행자 신호가 적색이고 보행자 녹색시간에 해당되지 않는 시점에 보행자가 도착한다면 해당 보행자는 황색시간만큼의 대기시간을 가진다. 둘째, 황색시간에 도착한 보행자는 3초 이하의 대기시간을 가지고 보행자 녹색신호등화 후 바로 횡단한다. 셋째, 보행자 녹색신호등화 후 7초 이전에 도착한 보행자는 곧바로 횡단하며, 7초 이후에 도착한 보행자는 다음 신호를 기다려야 한다.

본 연구의 분석전제에서 보행자는 균일분포로 도착한다고 가정하였으므로 예를 들어, 시간당 보행자가 1명이면 보행자는 분석시간 시작과 동시에 도착, 시간당 보행자가 2명이면 보행자는 분석시간의 시작 지점과 1,800초에 도착하게 된다. 이와 같은 방식으로 보행자교통량이 일정 수준 이상 증가하다 보면, 보행자가 보행자 작동신호기를 '도착과 동시에 작동시킬 수 없는 경우'가 발생한다. 이러한 경우 보행자 작동신호기가 최대로 작동하는 상태인 것이다. 보행자 작동신호기의 최대 작동 횟수 ( $N_{push\ max}$ )는 분석시간 3,600초를 각 차로별 Push-button Cycle로 나누어 구할 수 있으며, 각 차로별로 계산한 결과를 Table 5에 나타내었다.

보행자 작동신호기가 최대횟수로 작동한다는 것은 Push-button Cycle이 3,600초 내에 빈틈없이 나열되는 상황이며, 이는 고정주기식 신호체계와 동일하게 운영되는 것을 의미한다. 본 연구에서 고정주기식 신호기 신호구성은 해당 시나리오의 Push-button Cycle을 연속적으로 나열한 것과 같다. 위와 같은 경우 보행자 지체시간은 보행자가 도착한 시간으로부터 보행자 녹색시간이 등화 되는 시간까지의 대기시간이다.

반대로 보행자 작동신호기 최대 작동횟수 이하로 운영되고 있다면 보행자의 대기시간은 황색시간 3초이다. 위 내용으로부터 보행자 지체시간을 식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

**Table 5.** Push-button cycle and maximum number of push-button operations

Variables	Two-lane road	Three-lane road	Four-lane road (80km/h)	Four-lane road (100km/h)
Push-button Cycle (C)(s)	37	42	51	51
Maximum operation of push-button ( $N_{push\ max}$ )(op)	97	85	70	70

$$D_p = Y \times N_p \text{ (단, } N_p \leq N_{push\ max} \text{)} \quad (3)$$

여기서,

$D_p$  : 보행자 지체시간

$Y$  : 황색시간

$N_p$  : 보행자 수

$N_{push\ max}$  : 보행자 작동신호기 최대 작동 횟수

## 2. 차량 지체시간 산출

각 차로별 보행자 녹색시간이 다르기 때문에 1회의 Push-button Cycle동안 생기는 대기차량대수가 다르다. 보행자 교통량에 따라 보행자 작동신호기의 작동횟수가 달라지며, 이는 차량지체에 영향을 미친다. 따라서 차량 지체시간( $D_v$ )은 차량의 정차시간( $T_s$ ), 포화차두시간( $h$ ), 출발지연시간( $T_{suv}$ ), 보행자 작동신호기 작동횟수( $N_c$ )를 이용하여 산출하였다.

차량의 정차시간( $T_s$ )은 각 차량이 도착한 시간에 따라, 차량이 적색시간에 도착한 후 녹색시간까지의 시간을 측정하였다.

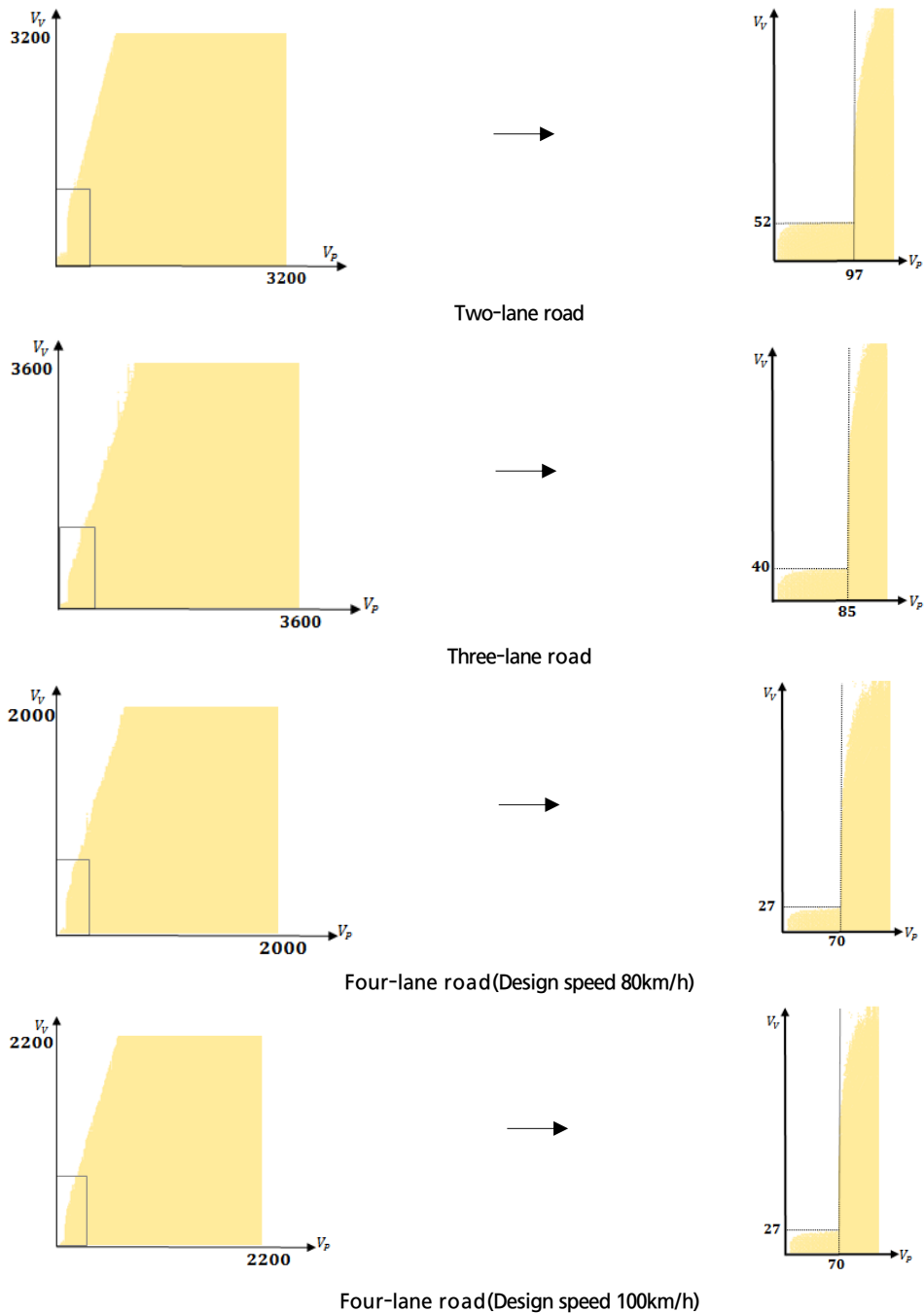
포화차두시간( $h$ )은 3,600초를 차로별 포화교통량으로 나눈 값에 대기차량대수( $N_v$ )를 곱하여 산출하였다.

출발지연시간( $T_{suv}$ )은 보행자 녹색시간동안 대기했던 차량들에 의해 계산되며, 이 차량들이 해소되는데 걸리는 차두시간과 출발지연시간을 고려하여 산출하였다. 출발지연시간은 대기차량대수( $N_v$ )가 6대 이상일 때 2.3초(Doh, 2004)로 가정하였으며, 5대 이하일 때에는 Table 6과 같이 가정하였다. 대기차량대수( $N_v$ )가 5이하일 때,

**Table 6.** Start up delay time

Number of waiting vehicles( $N_{v/c}$ )(veh)	Equation	Star up delay(s)
1	$\frac{2.3}{2n}$	1.15
2	$\sum_1^2 \frac{2.3}{2n}$	1.73
3	$\sum_1^3 \frac{2.3}{2n}$	2.01
4	$\sum_1^4 \frac{2.3}{2n}$	2.16
5	$\sum_1^5 \frac{2.3}{2n}$	2.23
6	-	2.30





$V_V$  = Number of vehicle,  $V_P$  = Number of Pedestrian

Figure 4. Vehicle delay - pedestrian delay(Saturation flow rate on left side, 400veh/h and 400ped/h on right side)

출발지연시간은 식(4)와 같이 가정하였다.

$$T_{SUD} = \sum_1^{N_V} \frac{2.3}{2n} \quad (N_V \leq 5)$$

(4)

보행자 작동신호기 작동 횟수( $N_C$ )는 보행자 교통량에 따라서 달라진다. 보행자 지체시간 산출에서 언급하였듯 보행자도착분포는 균일분포로 가정하였으므로 보행

자 작동신호기의 최대 작동 횟수는 Table 5에 제시되어 있는 바와 같다. 위에서 언급한 변수들을 식으로 정리하면 식(5)와 같다.

$$D_V = [(T_s) + (h \times N_V) + (T_{SUD})] \times N_C \tag{5}$$

여기서,

- $D_V$  : 차량 지체시간(초)
- $T_s$  : 차량정차시간(초)
- $h$  : 포화차두시간(초)
- $N_V$  : 대기차량대수(대)
- $T_{SUD}$  : 출발지연시간(초)
- $N_C$  : 보행자 작동신호기 작동횟수(회)

### 3. 지체시간 분석

#### 1) 보행자 지체시간 - 차량지체시간( $D_V - D_P$ )

분석의 전제에서 보행자와 차량의 시간가치는 같다고 언급하였다. 보행자와 차량의 지체시간을 산출하였으므로, 두 지체시간의 차이 값( $D_V - D_P$ )을 분석하여 지체시간의 증감 여부를 분석하였다. Figure 4의 좌측은 교통량과 보행자교통량을 포화교통량까지 10대/시, 10명/시단위로 변화를 주어 전체적인 지체차이를 보여준다. 그림의 세로축은 차량교통량( $V_V$ )을 나타내며, 가로축은 보행자 교통량( $V_P$ )을 나타낸다. 차량교통량과 보행자교통량이 증가함에 따라 일정한 기울기의 형태를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이 기울기는 보행자 작동신호기와 고정주기식 신호기의 효과가 같아지는 지점인, 보행자 작동신호기 최대 작동횟수이하일 때 급격히 낮은 지체차이를 보여준다. Figure 4의 우측부분이 이러한 급격한 차이를 확대하여 표출한 부분이다. 이 부분이 의미하는 것은 그 지점에서 보행자 지체가 차량지체보다 작다는 것이므로, 해당 부분이 보행자 작동신호기가 고정주기식 신호기보다 월등한 효과를 나타내는 구간이라고 볼 수 있다. 세로축을 보면 보행자 교통량이 각 시나리오별로 양방향 2차로의 경우 97명/시, 양방향 3차로의 경우 85명/시, 양방향 4차로의 경우 70명/시 일 때를 기준으로 지체 차이가 가장 크게 나타난다. 양방향 4차로의 경우 설계속도의 변화를 주어서 분석했으나 그 영향은 미미한 것으로 나타났다. 또한 보행자 교통량이 위보다 작을 때에도 차량교통량이 각 차로별로 양방향 2차로의 경우 52대/

시, 양방향 3차로의 경우 40대/시, 양방향 4차로(설계속도 80km/h)의 경우 27대/시, 양방향4차로(설계속도 100km/h)의 경우 27대/시 이하일 때에는 보행자지체가 차량지체보다 높게 나타났다.

### 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 차로수와 설계속도를 고려한 네 가지 시나리오를 구성하였고, 보행자 수와 차량 수에 따라 변화하는 보행자 지체와 차량 지체를 계산하고 비교하였다. Table 6의 보행자 작동신호기 최대 작동횟수는 보행자 작동신호기와 고정식신호기의 운영하는 것이 같아지는 지점이라 할 수 있는데, 그 이유는 본 연구에서 보행자의 도착의 분포가 각 도착 당 1명씩 도착하는 균일 분포를 따른다는 가정을 하였기 때문이다.

본 연구가 도달한 핵심적인 결론은 양방향 2차로에서 차량의 통행이 52대/시 이상이고, 보행자 교통량이 97인/시 이하일 경우, 보행자 지체(보행자 총 대기시간)가 차량 지체보다 항상 작다는 것이다. 보행자 작동신호기가 고정식신호기에 비해 지체를 적게 발생시키는 구간을 확인하고 해당구간의 시·종점을 숫자로 표현하였다는 것이 본 연구의 핵심 결론이라 할 수 있다. 이러한 조건은 다른 상황 (i.e. 차로 수에 따른 시나리오)에서도 다음과 같이 적용되는 것으로 확인되었다. 양방향 3차로의 경우, 40대/시 이상, 85 인/시 이하에서, 양방향 4차로 경우, 27대/시 이상, 70인/시 이하에서 각각 보행자 작동 신호기가 보행자에게 더 유리한 것으로 도출되었다.

본 연구에서는 보행자 작동신호기가 고정식 신호기보다 보행자나 차량 중 어떤 쪽에 얼마나 총 지체적인 차원에서 더 이득이 되는지까지는 살펴보지 못하였다. 다만, 보행자 수와 차량 수가 일정 수준 이상이 되면 고정식 신호기로 운영하는 것과 보행자작동신호기로 운영하는 것의 지체 차이가 없을 것이라는 추론은 가능하다. 그 이유는 보행자의 도착의 분포적 특징이 각 도착 당 단일 보행자로 한정되었고, 그 도착의 분포가 균일(uniform distribution)하기 때문에 도착의 간격이 전체 시간에서 고루 분포(evenly distributed) 할 수 밖에 없는 구조 때문이며, 그 결과 차량의 소통을 위해 보행자 작동신호기의 작동을 고의적으로 일정시간 동안 멈춘다는 가정을 포함하기 때문이다.

본 연구에서 제시하는 기준은 비록 후술할 몇 가지



한계점에도 불구하고 만약 보행자의 지체의 최소화의 가치를 차량소통의 원활함의 가치보다 더 우위에 둘 경우 단일로 횡단보도에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 다음과 같은 한계점을 가지고 있으며 이는 향후 연구에서 보완할 내용들이다. 첫째, 보행자작동신호기의 설치를 고려하고 있는 지역의 보행자의 도착분포가 본 연구가 가정한 균일분포와 다른 경우 포아송 분포, 경험분포 등을 검토하여 분석 후 적용되어야 할 것이다.

둘째, 본 연구에서의 보행자는 단일 보행자 도착으로 가정했고, 차량의 운전자는 1명으로 가정한 한계를 지니고 있다. 실제로 보행자는 두 명이나 세 명의 '군'의 형태로 도착하는 행태를 보이고 있고, 차량 승차인원도 복수인 경우가 많기 때문에 이에 대해 반영한다면 현실 모사 능력이 조금 더 높아질 것이다.

셋째, 본 연구에서 가정한 내용 중 '보행자 녹색 신호시' 추가적 보행자의 접근을 어떻게 모형화 시킬 것인지에 내용도 향후 반드시 고려해야 한다. 예컨대, 보행자 녹색 신호시 추가 보행자가 접근한 경우 고의적으로 보행자 적색을 주는 방안이 일견 합리적으로 보이나, 그것이 반드시 총 지체(보행자 지체+차량지체)를 최소화시키는 것은 아닐 수 있다. 즉, 보행자의 수가 압도적으로 많은 경우 '고의적 적색'을 일정 수준 '연장' 시키는 방안(예컨대, 두 번이나 세 번까지 '고의적 적색'을 유보시키는 방안)도 고려할 수 있을 것이며 차량이나, 보행자의 도착을 감지하여 총 지체를 최소화 할 수 있는 방안을 고려할 수도 있을 것이다. 넷째, 연구가 실질적으로 현행 고정식 신호기와 보행자작동 신호기의 보행자 지체, 차량 지체, 총 지체를 비교하는 것이다. 다섯째, 횡단보도보행자수가 매우 적은 경우 즉, 30인/시 이하인 경우 비신호 횡단보도의 지체와 보행자작동신호기 운영시의 지체를 비교 검토하여 보행자의 안전을 향상시키며, 총 지체를 최소화하는 설치 기준을 제시하는 연구도 필요할 것이다.

이러한 다양한 한계점은 대체로 본 모형이 가진 결정적 (deterministic) 특징에 기인한 것인데, 향후 이러한 한계는 확률적 (stochastic) 특징을 반영하는 것으로 극복될 수 있을 것이다. 확률적 특징을 가장 잘 반영할 수 있는 연구 방법론은 시뮬레이션 모형이며, Rockwell사의 ARENA나, PTV사의 Vissim을 이용할 수 있을 것이다.

## REFERENCES

Cho H. S., Park J. H., Noh J. H. (2007), Effectiveness Analysis for Traffic and Pedestrian Volumes of Pedestrian Pushbutton Signal, Journal of Korean Society of Road Engineers, 9(4), 33-43.

Cho H. S., Seol J. H. (2005), Effectiveness Analysis for Pedestrian Pushbutton and Plan for Extension (KOTI Research report), 27-29, 63-70.

Cresswell C., Hunt J. G. (1979), Site Evaluation of a Zebra Crossing Simulation Model, Traffic Engineering & Control, 20(10), 467-474.

Crociani L., Vizzari G. (2014), An Integrated Model for the Simulation of Pedestrian Crossings, Computer Science, 8751, 670-679.

Doh C. W. (2004), Principles of Transportation Engineering, Cheongmungak, 48, 456.

Korean Society of Civil Engineers (2009), Explanation for Rules of Road Infrastructure and Facility Standards, 166, 179.

Ministry of Land (2013), Infrastructure and Transport, KHCM 144, 169, 184.

Police agency (2011), The Manual for Traffic Signal Install and Management, 47-48, 60.

- ♣ 주 작 성 자 : 윤승섭
- ♣ 교 신 저 자 : 김남석
- ♣ 논문투고일 : 2015. 3. 4
- ♣ 논문심사일 : 2015. 5. 7 (1차)  
2015. 7. 21 (2차)
- ♣ 심사판정일 : 2015. 7. 21
- ♣ 반론접수기한 : 2016. 2. 29
- ♣ 3인 익명 심사필
- ♣ 1인 abstract 교정필