



차량 및 보행자 교통량에 따른 보행자 작동신호기의 효과 분석

Effectiveness Analysis for Traffic and Pedestrian Volumes of Pedestrian Pushbutton Signal

조 한 선* 박 지 형** 노 정 현***
 Cho, Hanseon Park, Ji Hyung Noh, Jung Hyun

Abstract

Because usually signal controllers on the crosswalks of mid-block provide pedestrian signals every cycle based on the fixed signal plan, pedestrian signals are provided even when there is no pedestrian demand. Consequently, signal is operated inefficiently and this may cause drivers to experience useless delay or violate the signal. Even though recently pushbuttons have been installed to improve the efficiency of pedestrian signal control in the crosswalks of mid-block and the pedestrian safety, they are not spread out national-wide in Korea because of the cost of the pushbutton equipments and the lack of an acknowledgement of the efficiency of the pushbutton. In this study, the effectiveness of the pushbutton on saving the vehicle delay was verified through before and after study in 4 study sites using a traffic micro-simulation model, VISSIM. To evaluate the viability of the pushbutton, a benefit/cost analysis was also performed for 4 study sites. It was found that B/C ratio of all of 4 study sites was greater than 1. The sensitivity analysis for the traffic volume and pedestrian volume were performed to identify the impact of the both volume on the operation of pushbutton. And, a benefit/cost analysis was performed for all scenarios. It was found that when the pedestrian volume is greater than 90ped/h, the pedestrian signal was operated same as the fixed signal plan. That is, there is no benefit of pushbutton at all once the pedestrian volume is greater than 90ped/h. When the pedestrian volume is equal to or less than 90ped/h and the traffic volume is greater than 2,500veh/h, B/C ratio is greater than 1. Also it was found that as traffic volume increases and pedestrian volume decreases, the benefit increases. In this study, the criteria for installation of pushbutton on the crosswalks of mid-block are developed through the sensitivity analysis and benefit/cost analysis. The results of this study may be used as a criteria for expansion of pushbutton system.

Keywords : *pushbutton, fixed signal plan, VISSIM, mid-block*

요 지

단일로에 위치한 보행자 신호기는 지역제어기에 사전입력된 값에 의해 매주기마다 보행신호를 제공해 주고, 이로 인해 보행자 교통량이 적은 단일로의 경우 보행자가 없는 경우에도 보행자 신호를 제공함으로써 신호운영상 비효율적인 면이 존재해 왔다. 이로 인해 운전자들은 보행자가 존재하지 않는데도 불구하고, 보행자 신호가 제공됨에 따라 불필요한 신호대기시간을 겪게 되고 교통신호의 비효율적인 운영에 대한 불만이 쌓여 왔고, 그 결과 신호를 위반하고 횡단보

* 정회원 · 한국교통연구원 도로교통연구실 책임연구원
 ** 정회원 · 한양대학교 도시공학과 박사과정
 *** 정회원 · 한양대학교 도시공학과 교수



도를 통과하는 운전자가 발생함으로써 범법자를 양산하게 되었다. 보행자 안전과 보행자 신호의 효율성을 높이기 위한 방안으로 근래에 일부지역에 보행자작동신호기를 설치하여 운영하고 있지만, 예산 등의 문제 및 보행자작동신호기의 효율성 인식이 부족한 원인 등으로 전국적으로 확대설치가 지연되고 있다. 본 연구에서는 보행자작동신호기 설치 시 비용과 편익을 현장조사 및 시뮬레이션을 이용하여 분석함으로써 이의 효과를 가지적으로 제시하였다. 4개의 연구대상지점을 선정하여 실제 차량 및 보행자교통량을 조사하여 보행자작동신호기의 효과를 검증해 본 결과, 4개소 모두 B/C가 1이 넘어 보행자작동신호기 설치가 타당하다는 결론이 나왔다. 또한, 차량교통량과 보행자교통량에 따른 민감도 분석을 한 결과 보행자교통량이 90인/시 보다 많을 경우에는 보행자작동신호기의 효과가 없는 것으로 나타났으며, 보행자교통량이 90인/시 이하이고, 차량교통량이 2,500대/시 이상일 경우에는 보행자작동신호기에 대한 B/C가 1이 넘어, 이 경우 보행자작동신호기 설치가 타당하다고 나타났다. 또한, 차량교통량이 많고 보행자교통량이 적을수록 그 효과는 더 큰 것으로 나타났다. 본 연구에서는 보행자작동신호기의 설치기준의 근거를 경제성분석을 통해서 제시하였으며, 본 연구의 결과가 향후 보행자작동신호기 확대설치방안을 뒷받침할 수 있는 기초자료로 사용될 수 있기를 기대한다.

핵심용어 : 보행자작동신호기, 고정주기식, VISSIM, 단일로

1. 서론

단일로에 위치한 보행자 신호기는 신호제어기에 사전입력된 값에 의해 매주기마다 보행신호를 제공해 주고, 이로 인해 보행자교통량이 적은 단일로의 경우 보행자가 없는 경우에도 보행자 신호를 제공함으로써 신호운영상 비효율적인 면이 존재해 왔다. 이로 인해 운전자들은 보행자가 존재하지 않는데도 불구하고 보행자 신호가 제공됨에 따라 불필요한 신호 대기시간을 겪게 되고 교통신호의 비효율적인 운영에 대한 불만이 쌓여 왔고, 그 결과 신호를 위반하고 횡단보도를 통과하는 운전자가 발생함으로써 범법자를 양산하게 되었다.

보행자 안전과 보행자 신호의 효율성을 높이기 위한 방안으로 근래에 일부지역에 보행자작동신호기를 설치하여 운영하고 있지만, 예산 등의 문제 및 보행자작동신호기의 효율성 인식이 부족한 원인 등으로 전국적으로 확대설치가 지연되고 있다. 본 연구에서는 보행자작동신호기의 효과분석을 통하여 보행자작동신호기의 효율성을 입증함과 동시에 차량교통량과 보행자교통량에 대한 민감도분석을 통하여 보행자작동신호기의 설치기준을 제시하고자 한다.

2. 보행자 신호기 및 보행자작동신호기 설치 기준

2.1 국내의 보행자 신호기 설치기준

국내의 보행자 신호의 정의 및 설치기준은 『교통신호기 설치·관리 매뉴얼』에 소개되어 있으며, 보행자신호기의 설치기준으로는 다음과 같은 조건을 만족할 때 설치하여야 한다고 명시되어 있다.

- 차량신호기가 설치된 교차로의 횡단보도로서, 1일중 교통이 가장 빈번한 1시간 내의 시간당 횡단보행자가 150명을 넘는 곳
- 번화가의 교차로, 역전 등의 횡단보도로서, 보행자의 통행이 빈번한 곳
- 차량신호만으로는 보행자에게 언제 통행권이 있는지 분별하기 어려운 경우
- 차도의 폭이 16m 이상인 교차로 또는 횡단보도에서 차량신호등이 변해도 보행자가 차도 내에 남을 때가 많은 경우
- 어린이보호구역내 초등학교 또는 유치원의 주출입문과 가장 가까운 거리에 위치한 횡단보도

또한, 보행자신호기는 차량신호기와 함께 설치하



는 것이 원칙이며, 보행자 수가 적거나 일정시간대에 만 보행자가 횡단할 경우에는 보행자작동신호기를 설치할 것을 권장하고 있다.

2.2 국내의 보행자작동신호기 설치기준

보행자작동신호기(pushbutton) 설치에 대한 기준도 역시 『교통신호기 설치·관리 매뉴얼』에 소개되어 있으며, 설치권장장소로는 단일로와 교차로를 분리하여 다음과 같이 명시하고 있다.

○ 단일로

- 어린이 보호구역내 위치한 횡단보도로서 특정 시간대를 제외하고 평소 보행자교통량이 많지 않은 지점
- 일반국도 및 지방도 등에서 보행자교통량은 많지 않으나 보행자의 도로횡단 필요성이 있어 신호기가 설치된 지점
- 보행자교통량이 신호기 설치기준에는 미치지 못하나 기타 설치기준에 의하여 신호기가 설치된 지점
- 기타 공학적으로 필요하다고 인정되는 지점

○ 교차로

- 보행자교통량이 신호기 설치기준에는 미치지 못하나 기타 설치기준에 의하여 신호기가 설치된 교차로 (3지 또는 4지)에서
- 부도로의 교통량이 정체시간대에도 1주기내 (보행자의 신호요청이 없을 경우 해당 현시의 최소녹색시간)에 모두 소거될 수 있을 정도로 적은 지점에서 간선도로변에 위치한 횡단보도
- 보행자작동신호기 설치로 주도로의 교통혼잡이 크게 개선될 수 있고 부도로의 현시시간 단축으로 인한 악영향이 없을 것으로 예상되는 지점

○ 기타 공학적으로 필요하다고 판단되는 지역

2.3 미국의 보행자 신호기 및 보행자작동신호기 설치기준

미국의 보행자 신호 설치기준 및 지침은 MUTCD (Manual on Uniform Traffic Control Devices)에 구체적으로 명시되어 있는데, 보행자교통량 기준과 학교주변 횡단기준이 따로 분리되어 있다. 보행자 신호 교통량 기준은 주도로의 교통량이 많아서 보행자가 도로를 횡단하기 위해서 지나친 지체를 겪는 곳에 설치하기 위한 기준이고, 학교주변에 대한 신호 설치기준은 어린이들이 주도로를 횡단한다는 자체가 위험하다는 차원에서 고려된 기준이다. 또한, 보행자작동신호기의 설치에 대한 기준은 따로 마련되어 있지는 않지만, 보행자작동신호기는 보행자 신호 설치시 함께 설치하는 것으로 MUTCD는 권장하고 있다.

보행자 신호의 설치기준으로는 다음과 같이, 우리나라의 기준보다 다소 구체적인 것을 알 수 있다.

- 전문가 조사에서 다음의 두 가지 조건을 만족하면, 교차로나 단일로 상의 횡단보도에 교통신호 제어기의 필요성이 고려되어야 한다.
 - 교차로의 주도로나 단일로의 보행자 교통량이 평일 피크 4시간 동안 매시간 100명 이상이거나 피크 1시간 기준 190명 이상일 경우
 - 보행자교통량이 기준에 부합하고, 같은 시간대에 보행자가 횡단할 수 있는 gap이 시간당 60보다 적을 경우.(보행자가 대피할 수 있는 충분한 폭의 중앙분리대로 나뉘어진 도로에서는 각 방향에 따로 적용됨)
- 새로운 교통신호제어기가 교통의 순조로운 흐름을 제한한다면, 주도로상에 인근의 교통신호 제어기까지의 거리가 90m 보다 짧은 경우에는 보행자 신호 설치에 대한 보행자교통량 기준은 적용되지 않는다.
- 이러한 기준에 부합하고, 교통신호제어기가 전문가 조사에 의해 적합하다는 판단이 나오면,



교통신호제어기는 보행자 신호와 함께 설치되어야 한다.

권장사항으로 위의 기준이 부합되고 전문가 조사에서 교통신호제어기 설치가 적합하다고 판단되면, 교차로에서는 교통신호제어기는 감응식으로 제어되어야 하고, 보행자 검지기를 포함해야 한다고 명시되어 있다.

이와 같이 우리나라와 미국 공히 보행자 신호기에 대해서는 구체적인 수치를 이용하여 설치기준을 제시한 반면, 보행자작동신호기에 대한 설치기준은 그렇지 못한 실정이다. 또한 보행자작동신호기의 효과 분석에 대한 기존의 연구는 전무한 상태로 본 연구에서 이를 시도해 보고자 한다.

3. 분석방법

3.1 연구대상지역 선정

연구대상지점으로는 도시내의 현황을 파악하기 위해 경기도 고양시내의 보행자작동신호기가 설치되어 있지 않은 단일로 상의 횡단보도 2개소와 시외곽지역의 현황파악을 위해 고양시 외곽의 국도상에 보행자작동신호기가 설치되어 있지 않은 단일로 상의 횡단보도 2개소를 선정하였다. 연구대상지역 선정기준은 보행자작동신호기의 효과가 높을 것으로 판단되는 비교적 교통량이 많고 보행자교통량이 적은 곳으로 하였다.

3.2 분석방법

현장에서 수집한 차량교통량, 보행자교통량 및 신호현시를 입력변수로 Microscopic 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM에서 고정주기식과 보행자작동신호기로 인한 보행자 감응식에 대해 차량지체시간을 산정하였다. 조사시간은 하루 10시간으로 하루 동안의 교통량 패턴이 5개의 영역으로 나눌 수 있다는 가정

하에 각 시간대의 대표시간대를 조사하였다. 즉, 오전 첨두, 점심 첨두, 저녁 첨두, 비 첨두 및 심야시간대 등 5개의 시간대로 나눠 각각 2시간씩 조사가 이루어 졌다. 조사시간이외의 비 첨두와 심야시간대에 대해서는 조사된 비 첨두와 심야시간대의 편익을 각각 적용하여 24시간의 편익을 추정하였다.

3.3 민감도분석

보행자작동신호기의 편익은 차량교통량과 보행자교통량에 따라 변할 수 있으므로, 민감도분석에 의한 편익산정이 필요하다. 연구대상지역을 대상으로 한 분석에서는 현장 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 실행함으로써 실제 현장에서의 보행자작동신호기의 필요성을 검토한 것인 반면, 민감도분석에서는 차량교통량과 보행자교통량에 따른 보행자작동신호기의 효과 변화를 분석할 것이다. 시뮬레이션에서는 보행자와 차량이 모두 랜덤하게 횡단보도에 도착한다는 것이 가정되었고, 민감도분석을 위한 시나리오는 다음과 같이 설정하였다.

- 차량교통량(양방향) : 100, 500, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 3,500, 4,000, 4,500, 5,000, 5,500, 6,000, 6,500, 7,000대/시
- 보행자교통량(양방향) : 10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400인/시

차량교통량 시나리오 100대/시부터 거의 도로의 용량수준까지 500대/시씩 증가되게끔 설정하였고, 보행자교통량 시나리오는 보행자가 적을수록 보행자작동신호기의 효과는 민감하게 변할 것으로 기대되어 50인/시 이하에서는 10인/시씩 증가시켰고, 50인/시 이상에서는 도로용량편람의 신호교차로 분석 시 높은 보행자교통량의 기준치인 400인/시까지 50인/시씩 증가하는 것으로 설정하였다.

그 외에 시뮬레이션을 위해 필요한 변수로, 횡단보도상의 도로의 차로수는 왕복 4차로로 설정하였고,



보행자의 횡단속도는 1.0m/s로 횡단에 필요한 시간은 약 14초로 설정하였다. 또한, 보행자 녹색시간은 5초, 차량녹색 현시는 117초, 차량의 change interval은 4초로 각각 설정하여 신호주기는 140초로 설정되었다. 시나리오에 사용된 차량교통량의 v/C를 산정하여 시나리오의 적정성을 검증해본 결과 0.01~0.95 사이로 나타나 시나리오의 설정은 적절한 것으로 판단되었다. 이에 필요한 용량산정을 위해서는, 이상적인 조건인 경우를 가정하여, 기본 포화 교통류율 2,200pcphgpl, g/C 0.84(=117/140)을 적용하였다. 차량은 승용차만이 가정되었고 속도는 58~68km/h 사이로 설정하였다. 또한, 각 시나리오별로 대표성을 갖기 위하여, 각 시나리오별로 5가지의 다른 랜덤시드를 이용하여 시뮬레이션을 5회 실행하여 그 평균값을 사용하기로 하였다. 일반적으로 시뮬레이션 분석에 있어서 시뮬레이션 프로그램을 실제상황에 맞게끔 calibration하는 문제는 상당히 중요하다. 하지만, 연구의 목적이 보행자작동신호기의 유·무에 따른 시뮬레이션 결과를 같은 조건에서 비교하기 위한 것인 만큼 calibration문제는 그리 크지 않을 것으로 판단되어 본 연구에서는 calibration을 수행하지 않았다. calibration을 하지 않으므로 해서 실제의 지체도는 시뮬레이션 결과와 다를 수 있으나, 여라가지 랜덤시드를 이용하여 시나리오별로 대표성을 갖게끔 함으로써 단지 보행자작동신호기의 유·무에 따른 차량지체의 차이 비교는 가능하리라 판단된다.

이와 같은 민감도분석을 통해 보행자작동신호기 설치 시 가장 큰 효과를 볼 수 있는 차량교통량과 보행자교통량의 조합을 파악해 보고 또한, 보행자작동신호기 설치 시 오히려 횡단보도 운영에 악영향을 미칠 수 있는 임계차량 및 보행자교통량을 찾아보고자 한다.

3.4 비용분석

현재 신호제어기의 종류를 보행자작동신호기의 추가설치 가능여부에 따라 분류해 보면, 추가설치 가능

한 신호제어기로는 일반신호제어기(with port), 전자신호제어기(with port), 표준화제어기가 있고, 추가설치가 불가능한 신호제어기로는 일반신호제어기(without port)와 전자 신호제어기(without port)가 있다. 각 현장에 설치되어 있는 제어기의 종류는 파악하기 어렵고, 보행자작동신호기를 설치하기 위해서는 안전상 표준화제어기를 이용해야 하는 것이 바람직하므로, 표준화제어기를 새로 설치할 경우의 비용 즉, 1,600만원^{*}을 이용하기로 하였다. 보행자작동신호기의 유지관리비는 보행신호기의 유지관리와 함께 이루어지므로 따로 책정하지 않았으며, 분석의 편리상 장비의 감가상각비나 잔존가치는 고려하지 않았다.

3.5 편익분석

보행자작동신호기 설치시 편익은 크게 보행자 신호를 효율적으로 운영함으로써 얻을 수 있는 차량의 지체감소와 차량의 신호위반 및 보행자의 무단횡단을 줄일 수 있으므로 보행자 안전향상으로 나누어 볼 수 있을 것이다. 차량의 지체감소로 인한 편익은 시뮬레이션을 이용해 쉽게 구할 수 있지만, 보행자 사고감소로 인한 편익은 보행자작동신호기 설치의 영향으로 어느 정도 사고가 감소할지 미지수인 점을 감안할 때, 사실상 화폐가치로 환산이 곤란하므로, 보행자작동신호기 설치시 편익은 차량의 지체감소만을 고려하기로 하였다.

또한, 민감도분석은 1시간의 시뮬레이션 분석으로 수행되었기 때문에, 1시간 동안의 편익을 24시간 동안의 편익으로 환산하는 과정이 필요하다. 1시간 분석에 사용된 교통량을 오전 첨두시의 교통량으로 가정하고, 조사지점에서의 첨두시 편익과 타시간대의 편익의 비율을 이용하여 다음과 같은 단계를 거쳐 1시간 동안의 편익대비 24시간 동안의 편익비율을 산정하였다.

* 설치비용은 3개 업체에 문의한 후 평균치를 이용한 것임.



- 1 단계 : 5개 시간대 각각의 시간 결정 : 오전 첨두 (A 시간 : 07~09), 점심 첨두(B 시간 : 12~14), 저녁 첨두(C 시간 : 18~20), 비 첨두(D 시간 : 09~12, 04~18, 20~23.), 심야(E 시간 : 23~24, 00~07 시 사이의 편익은 없는 것으로 가정)
- 2 단계 : 연구대상지역의 효과분석 결과로부터 오전 첨두, 점심 첨두, 저녁 첨두, 비 첨두, 심야의 5시간대의 평균편익산정 : a1, a2, a3, a4, a5
- 3 단계 : 오전 첨두, 점심 첨두, 저녁 첨두, 비 첨두, 심야의 5시간대의 편익대 오전 첨두의 편익비율 산정 : a1/a1, a2/a1, a3/a1, a4/a1, a5/a1
- 4 단계 : 시간대별 편익산정 : (A*a1/a1, B*a2/a1, C*a3/a1, D*a4/a1, E*a5/a1)
- 5 단계 : 오전 첨두 편익 대 하루 24시간 편익비율 산정 : (A*a1/a1+B*a2/a1+C*a3/a1 +D*a4/a1+E*a5/a1)

위와 같은 단계를 통해 산출된 비율과 시나리오별 로 시뮬레이션을 실행해서 나온 1시간의 편익을 곱함으로써 24시간의 편익을 구할 수 있을 것이다.

4. 현장조사지점의 효과분석 결과

조사시간동안 총차량지체는 현장에서 실측하기가 어려우므로 각 조사지점별로 실측교통량 및 신호현

시를 입력변수로 시뮬레이션을 이용하여, 각 조사지점별로 신호운영을 고정주기식 및 보행자작동신호 2 가지 시나리오를 설정하여 이들 2가지 방식에 대해 차량의 지체시간을 산정하였다.

또한, 신호방식별로 지체시간의 차이가 통계적으로 유의한지 검증을 위하여 paired-T test를 각 사이트 별 시간대별로 실행하였다. 각각의 경우에 각기 다른 랜덤 시드를 이용하여 5번의 시뮬레이션을 실행하였고, 랜덤 시드가 같은 run들을 비교하는 것이 의미가 있으므로, paired-T test가 적절할 것으로 판단되었다. 통계검증은 0.05% 유의수준에서 실행되었으며, 다음 표들에서 음영처리된 부분은 두개의 시스템에 의한 평균 차량지체가 같다는 것을 기각하지 못하는 경우이다. “-” 표시는 5번 run의 결과가 모두 같아 paired-T test 실행이 불가능한 경우로, 이 경우 두 시스템 간에 의한 지체차이는 없는 것으로 보았다.

4.1 종합운동장 앞

왕복 8차로 도로로 신호현시는 차량직진신호 130 초, 보행자신호 26초로 주기 160초의 고정주기식으로 운영되고 있었고, 이 값들을 이용하여 시뮬레이션을 실행한 결과 고정주기식을 이용하였을 경우 및 보행자작동신호기를 이용하였을 경우의 차량의 총지체 시간과 각 신호방식별 지체시간 차이는 표 1과 같다.

보행자작동신호기를 사용했을 경우, 08~09시를 제외한 전시간대에 걸쳐 고정주기식보다 차량지체가 감소하였다. 이 시간대의 보행자교통량은 114인/시

표 1. 신호운영방식에 따른 차량 지체시간 - 종합운동장 앞

신호방식 \ 시간대	07~08	08~09	12~13	13~14	15~16	16~17	18~19	19~20	22~23	23~24
고정주기식 (초)	8,560	11,431	8,231	8,346	10,010	9,211	10,940	10,064	6,096	4,318
보행자작동신호(초)	7,990	11,431	2,286	3,584	9,952	6,525	7,652	6,986	2,912	372
고정주기식 - 보행자작동신호(초)	570	0	5,945	4,762	59	2,686	3,288	3,078	3,184	3,946
차량교통량(대/시/양방향)	2,605	3,280	2,551	2,572	2,958	2,753	3,175	2,974	1,949	1,435
보행자교통량(인/시/양방향)	54	114	7	14	86	32	27	32	16	2



로 비교적 높은 것으로 나타나 보행자교통량이 어느 정도 이상이면 보행자작동신호기의 효과가 없는 것을 알 수 있다. 하지만, 대부분의 시간대에는 보행자교통량이 적어 보행자작동신호기의 효과가 있는 것으로 나타났으므로 이 지점에서 보행자작동신호기를 사용했을 경우 차량지체감소에 큰 효과가 있을 것으로 보인다.

4.2 왕국회관 앞

왕복 6차로 도로로 신호현시는 차량 직진신호 122초, 보행자신호 26초로 주기 152초의 고정주기식으로 운영되고 있었고 이 값들을 이용하여 시물레

이션을 실행한 결과 고정주기식을 이용하였을 경우 및 보행자작동신호기를 이용하였을 경우의 차량의 총지체시간과 각 신호방식별 지체시간 차이는 표 2와 같다.

보행자작동신호기를 사용했을 경우에는, 전시간대에 걸쳐 고정주기식보다 차량지체가 감소하였다. 이는 조사시간 전시간대에 걸쳐 보행자교통량이 비교적 적은 것으로 보아 종합운동장의 결과로부터 어느 정도 예상되는 결과였고 또한, 보행자교통량이 적고 차량교통량이 많은 시간대에 그 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 그러므로, 이 지점에서도 역시 보행자작동신호기를 사용했을 경우, 차량지체감소에 큰 효과가 있을 것으로 보인다.

표 2. 신호운영방식에 따른 차량지체시간 - 왕국회관 앞

신호방식 \ 시간대	07~08	08~09	12~13	13~14	15~16	16~17	18~19	19~20	22~23	23~24
고정주기식 (초)	9,575	11,775	7,166	8,214	9,964	9,636	12,661	12,110	7,134	5,475
보행자작동신호(초)	3,840	4,607	3,905	4,520	5,491	5,625	9,765	7,422	2,680	1,928
고정주기식 - 보행자작동신호(초)	5,735	7,168	3,262	3,694	4,473	4,011	2,896	4,688	4,454	3,547
차량교통량(대/시/양방향)	2,718	3,214	2,156	2,441	2,843	2,798	3,381	3,269	2,171	1,730
보행자교통량(인/시/양방향)	12	12	17	17	18	19	33	21	9	7

4.3 대자동길 (국도 1호선)

왕복 4차로 도로로 신호현시는 차량직진신호 113초, 보행자신호 22초로 주기 139초의 고정주기식으

로 운영되고 있었으나, 신호를 최적화 시킨 후 시물레이션을 실행하는 것이 바람직하므로, 보행자신호를 19초로 조정하였다. 이는 차로수와 도로의 폭(3.6m)을 고려하고, 보행속도를 1.0m/s로 가정하

표 3. 신호운영방식에 따른 차량 지체시간 - 대자동길

신호방식 \ 시간대	07~08	08~09	12~13	13~14	15~16	16~17	18~19	19~20	22~23	23~24
고정주기식 (초)	5,362	5,402	4,813	4,878	3,801	4,060	4,258	4,907	2,102	1,224
보행자작동신호(초)	1,759	1,392	423	741	1,212	1,057	915	1,479	198	217
고정주기식 - 보행자작동신호(초)	3,603	4,010	4,390	4,137	2,589	3,002	3,344	3,427	1,904	1,007
차량교통량(대/시/양방향)	2,103	2,119	1,933	1,959	1,646	1,713	1,767	1,955	996	639
보행자교통량(인/시/양방향)	12	8	2	4	12	8	5	9	1	6



여 19초의 보행시간이면 적정하다고 판단한 것으로, 시물레이션 상에서는 19초의 보행자신호를 이용하여 주기 136초로 실행하였다. 이 값들을 이용하여 시물레이션을 실행한 결과 고정주기식을 이용하였을 경우 및 보행자작동신호기를 이용하였을 경우의 차량의 총지체시간과 각 신호방식별 지체시간 차이는 표 3과 같다.

보행자작동신호기를 사용했을 경우에는, 전시간대에 걸쳐 고정주기식보다 차량지체가 감소하였다. 이 역시 보행자교통량이 비교적 적은 것으로 보아 앞의 결과로부터 어느 정도 예상되는 결과였고, 또한, 보행자교통량이 적고 차량교통량이 많은 시간대에 그 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 왕국회관 앞 보다 보행자교통량이 적음에도 불구하고 전체적인 편익은 오히려 감소했는데, 이는 차량교통량도 역시 왕국회관 앞 보다 적은 것에 기인한 것으로 보인다. 이 지점에서도 역시 보행자작동신호기를 사용했을 경우, 차량지체감소에 큰 효과가 있을 것으로 보인다.

4.4 벽제역 근처 (국도 39호선)

왕복 4차로 도로로 신호현시는 차량직진신호 113초, 보행자신호 23초로 주기 140초의 고정주기식으로 운영되고 있었으나, 차로수나 도로의 폭(3.6m)으로 보아 19초의 보행시간이면 적정할 것으로 보아 시물레이션 상에서는 19초의 보행자신호를 이용하여 주기 136초로 실행하였다. 이 값들을 이용하여

시물레이션을 실행한 결과 고정주기식을 이용하였을 경우 및 보행자작동신호기를 이용하였을 경우의 차량의 총지체시간과 각 신호방식별 지체시간 차이는 표 4와 같다.

보행자작동신호기를 사용했을 경우에는, 전시간대에 걸쳐 고정주기식보다 차량지체가 감소하였다. 보행자교통량이 4개 지점 중 가장 적은 지점으로 전체적인 편익은 가장 높은 것으로 나타났다. 또한, 보행자교통량이 적고 차량교통량이 많은 시간대에 그 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 이 지점에서도 역시 보행자작동신호기를 사용했을 경우, 차량지체감소에 큰 효과가 있을 것으로 보인다.

4.5 경제성 분석

경제성분석을 하기 위해서는 1시간 동안의 편익을 하루 동안의 편익으로 환산하는 과정이 필요한데, 앞 절의 효과분석방법에서 설정한 방법론을 이용하여 1시간 편익대비 하루 편익비율을 산정하였다. 각 시간대별 1시간 평균편익은 오전 첨두는 53분/시, 점심 첨두는 52분/시, 저녁 첨두는 60분/시, 비 첨두는 54분/시, 심야시간대는 33분/시로 나타났고, 이 값들과 앞에서 설정한 시간대를 이용하여 1시간 동안의 편익대비 24시간 동안의 편익비율을 산정한 결과 17.1로 산정되었다. 즉, 보행자작동신호기로 운영할 경우, 오전 첨두시 편익의 17.1배가 하루의 편익이 되는 것이라 할 수 있다. 민감도분석에서 1시간 분석

표 4. 신호운영방식에 따른 차량 지체시간 - 벽제역 근처

신호방식 \ 시간대	07~08	08~09	12~13	13~14	15~16	16~17	18~19	19~20	22~23	23~24
고정주기식 (초)	8,364	8,386	6,397	5,992	6,817	7,078	8,405	7,239	2,921	2,039
보행자작동신호(초)	1,375	0	668	0	597	672	2,245	1,861	261	0
고정주기식 - 보행자작동신호(초)	6,989	8,386	5,729	5,992	6,220	6,407	6,160	5,378	2,660	2,039
차량교통량(대/시/양방향)	2,877	2,886	2,397	2,316	2,500	2,595	2,892	2,598	1,310	947
보행자교통량(인/시/양방향)	4	0	2	0	2	1	8	8	1	0



에 사용된 교통량을 오전 첨두시의 교통량으로 가정하고, 각 시나리오의 시뮬레이션을 실행해서 나온 1시간의 편익과 1시간 동안의 편익대비 24시간 동안의 편익비율인 17.1을 이용하여, 1시간동안의 편익을 하루 동안의 편익으로 환산하였다

할인률과 시간가치는 각각 예비타당성조사 지침 제 4판에서 권장하는 6.5%와 12,150원/시를 적용하였고, 편익상 분석지표로는 B/C만을 사용하였다.

또한, 분석기간은 5년으로 책정하였고, 분석기간 동안 차량 및 보행자교통량의 변화는 없다고 가정하였다. 각 지점별로 편익 및 B/C는 표 5에 나타나 있다.

전지점에서 B/C는 1 이상으로 어느 지점이나 보행자작동신호기 설치의 타당성이 있다는 결론이 도출되었고 또한, 전지역에서 설치 1년 후에 바로 편익이 비용보다 높아 보행자작동신호기 설치시 그 효과를 바로 볼 수 있는 것으로 판단되었다.

표 5. 보행자작동신호기의 편익 및 B/C

장 소	1년 편익 (단위:천원)	B/C (1년)	B/C (5년)
종합운동장 앞	45,735	2.86	15.22
왕국회관 앞	90,688	5.67	30.18
대자동길	62,804	3.93	20.90
벽계역 근처	123,382	7.71	41.06

5. 민감도분석 결과

5.1 고정주기식

표 6은 고정주기식으로 신호가 운영될 경우 차량 변화에 따른 차량의 총지체시간을 보여준다. 고정 주

기식 신호운영의 특성상 보행자교통량의 변화에 관계없이 차량교통량의 증가만이 총차량지체에 영향을 미치므로 보행자교통량 변화에 대한 지체시간은 생략하였다. 교통량이 비교적 적은 범위에서의 교통량 증가에 따라 차량의 총지체의 증가율은 완만하지만, 교통량이 증가할수록 증가폭이 더 심한 것으로 나타났다.

표 6. 차량 총 지체시간 - 고정주기식 주기

차량교통량 (대/시/양방향)	100	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500	5,000	5,500	6,000	6,500	7,000
차량 총지체시간 (초)	129	857	1,952	3,137	4,620	6,221	8,242	10,314	13,299	16,489	20,610	24,201	29,148	34,299	40,986

5.2 보행자작동신호기

표 7은 고정주기식일 때의 총차량지체와 보행자작동신호기 설치시의 총차량지체의 차이를 보여준다. 양수는 보행자작동신호기 설치시의 총지체감소량을 보여주며, 보행자교통량이 100인/시 이상인 경우는 차이가 없는 것으로 나타나는데, 이는 매 주기마다

보행자가 존재하여 보행자 신호가 제공되는 것으로, 보행자작동신호기가 고정주기식과 똑같은 신호주기로 운영되는 것을 보여준다.

두 시스템에 의한 총지체차이가 통계적으로 유의한지 검증을 위하여 paired-T test를 앞서서와 같은 조건으로 실행하였다. 음영처리된 부분은 두 개의 시스템에 의한 평균차량지체가 같다는 것을 기각하지



표 7. 차량총지체시간(고정주기식 - 보행자자동신호기)

보행자 교통량 (인/시/양방향)	차량교통량(대/시/양방향)														
	100	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
10	93	618	1,394	2,241	3,226	4,280	5,674	6,970	8,999	11,113	13,740	16,427	19,711	23,169	27,323
20	70	418	936	1,524	2,191	2,936	3,942	4,739	6,371	7,707	9,758	11,280	13,619	15,921	18,958
30	46	269	637	1,016	1,473	1,941	2,568	3,136	4,300	5,108	6,272	7,446	8,959	10,613	12,267
40	26	169	418	687	1,035	1,344	1,792	2,021	2,787	3,405	4,381	5,037	5,853	6,989	8,086
50	12	100	259	418	558	796	1,015	1,185	1,672	1,971	2,588	2,847	3,583	4,400	4,740
60	2	60	179	299	438	547	657	697	1,194	1,299	1,593	1,971	2,269	2,718	3,067
70	2	30	99	179	279	348	358	418	717	717	996	1,095	1,553	1,682	2,091
80	2	20	80	120	159	249	239	279	557	538	796	876	1,075	1,165	1,533
90	2	10	60	90	159	199	239	209	478	448	597	657	955	1,035	1,254

못하는 경우이다.

차량교통량이 100대/시이고 보행자교통량이 60인/시 이상일 경우와, 차량교통량이 500대/시이고 보행자교통량이 80인/시 이상일 경우에는 두 시스템에 의한 총차량지체는 같다고 볼 수 있고, 그 이외에는

보행자자동신호기의 차량지체 감소효과가 있는 것으로 나타났으며, 여기서도 역시, 보행자교통량이 적을 수록, 차량교통량이 많을수록 그 효과는 큰 것으로 나타났다.

표 8. 보행자자동신호기의 B/C

보행자교통량 (인/시/양방향)	차량교통량(대/시/양방향)														
	100	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
10	0.54	3.60	8.12	13.06	18.80	24.94	33.06	40.61	64.75	64.75	80.06	95.72	114.85	135.00	159.21
20	0.41	2.44	5.45	8.88	12.76	17.11	22.97	27.62	37.12	44.91	56.86	65.73	79.35	92.77	110.46
30	0.27	1.57	3.71	5.92	8.59	11.31	14.96	18.27	25.06	29.76	36.55	43.39	52.20	61.84	71.48
40	0.15	0.99	2.44	4.00	6.03	7.83	10.44	11.78	16.24	19.84	25.53	29.35	34.11	40.72	47.11
50	0.07	0.58	1.51	2.44	3.25	4.64	5.92	6.90	9.74	11.49	15.08	16.59	20.88	25.64	27.62
60	0.01	0.35	1.04	1.74	2.55	3.19	3.83	4.06	6.96	7.57	9.28	11.48	13.22	15.84	17.87
70	0.01	0.17	0.58	1.04	1.62	2.03	2.09	2.44	4.18	4.18	5.80	6.38	9.05	9.80	12.18
80	0.01	0.12	0.46	0.70	0.93	1.45	1.39	1.62	3.25	3.13	4.64	5.10	6.26	6.79	8.93
90	0.01	0.06	0.35	0.52	0.93	1.16	1.39	1.22	2.78	2.61	3.48	3.83	5.57	6.03	7.31
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



5.3 경제성 분석

차량과 보행자교통량 각 시나리오별로 경제성 분석한 결과는 표 8에 나타나 있다.

보행자작동신호기의 경우 보행자교통량이 10~30인/시 일 경우에는 차량교통량이 100대/시 이하, 보행자교통량이 40~60인/시 일 경우에는 차량교통량이 500대/시 이하, 보행자교통량이 70인/시 일 경우에는 차량교통량이 1,000대/시 이하, 보행자교통량이 80~90인/시 일 경우에는 차량교통량이 2,000대/시 이하 일 경우에 B/C가 1 이하로 나타났다. 그러므로, 이러한 극히 드문 경우를 제외하고는 보행자작동신호기 설치의 타당성이 있다는 결론이 도출되었다. 또한, 차량교통량이 많을수록, 보행자교통량이 적을수록 B/C는 더 높은 것으로 나타났다.

대한 B/C가 1이 넘어 이 경우 보행자작동신호기 설치가 타당하다고 나타났다. 민감도분석에서도 역시 차량교통량이 많을수록, 보행자교통량이 적을수록 효과는 더 큰 것으로 나타났다.

현재 일부지역에서 단일로 뿐만 아니라 일반신호 교차로에도 보행자작동신호기의 도입이 추진되고 있는데, 이 역시 정확한 효과분석 없이 시행되고 있는 실정이다. 신호교차로에 대해서도 민감도분석을 통해 보행자작동신호기의 효과를 얻을 수 있는 임계차량 및 보행자교통량을 파악하는 것이 필요하다고 판단된다. 또한, 본 연구에서는 보행자작동신호기의 효과중 차량지체의 감소편익만을 고려하였으나, 향후에는 보행자작동신호기에 의한 보행자 사고감소의 효과도 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다. 그리고 본 연구에서는 현장에서 운영되는 차량녹색시간 및 주기길이를 이용하여 분석을 실시하였지만 단일로에서의 최적의 보행자신호 운영을 위해서는 향후 이들 신호변수들에 대한 최적화기법이 개발되어야 할 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 보행자작동신호기 설치시 비용과 편익을 현장조사 및 시뮬레이션을 이용하여 분석함으로써 이의 효과를 가시적으로 제시하였다. 4개의 연구대상지점을 선정하여 실제 차량 및 보행자교통량을 조사하여 보행자작동신호기의 효과를 검증해 본 결과, 4개소 모두 B/C가 1이 넘어 보행자작동신호기 설치가 타당하다는 결론이 나왔다. 차량교통량이 많고 보행자교통량이 적은 곳 일수록 효과는 더 큰 것으로 판단되었다.

차량교통량과 보행자교통량에 따른 민감도분석을 한 결과 보행자교통량이 100인/시 이상일 경우에는 보행자작동신호기의 효과가 없는 것으로 나타났으며, 보행자교통량이 90인/시 이하이고 차량교통량이 2,500대/시 이상일 경우에는 보행자작동신호기에

참고문헌

경찰청(2005), "교통신호기 설치·관리 매뉴얼"
 도로교통안전관리공단(2004), "2004년판 교통사고 통계분석"
 FHWA, U.S. Department of Transportation(2003),
 "Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highway"
 PTV Planning Transport Verkehr AG(2000),
 "VISSIM 매뉴얼, Version 3.5"

접 수 일: 2007. 5. 29
 심 사 일: 2007. 5. 31
 심사완료일: 2007. 10. 15