

보행자 우선 출발신호의 적정 시간 산출 연구

Study on the Appropriate Time for Leading Pedestrian Intervals

김 대 경* · 윤 수 영** · 윤 진 수*** · 김 상 옥**** · 윤 일 수*****

* 주저자 : 도로교통공단 빅데이터융합처 연구원
 ** 공저자 : 도로교통공단 교통과학장비처 처장
 *** 교신저자 : 도로교통공단 인프라연구처 처장
 **** 공저자 : 삼성교통안전연구소 부장
 ***** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Daekyung Kim* · Suyoung Yoon** · Jinsoo Yoon*** ·
 Sang-Ock Kim**** · Ilsoo Yun*****

* Big Date Convergence Dept., Road Traffic Authority
 ** Traffic Science Equipment Dept., Road Traffic Authority
 *** Infra Research Division, Road Traffic Authority
 **** Samsung Traffic Safety Research Institute
 ***** Dept. of Transportation Eng., Ajou University
 † Corresponding author : Jinsoo Yoon, nametree@koroad.or.kr

Vol.19 No.3(2020)

June, 2020

pp.1~13

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.3.1>

2020.19.3.1

Received 16 March 2020

Revised 20 April 2020

Accepted 19 May 2020

© 2020. The Korea Institute of
 Intelligent Transport Systems. All
 rights reserved.

요 약

비보호좌회전 및 우회전 차량으로 인해 보행신호 시 보행자가 교통사고 위험에 노출되어 있는 신호교차로에서 보행자의 안전이 담보될 수 있는 교통신호체계에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 본 연구는 비보호좌회전 및 우회전 차량과 보행자 상충 예방을 위한 보행자 우선 출발신호(leading pedestrian interval, LPI) 교통신호체계의 국내 도입에 따른 적정 운영방안을 수립하고자 한다. 이를 위해 객관적이고 현실성 있는 연구 수행을 위해 전문가와 일반인을 대상으로 보행자 우선 출발신호 도입이 필요에 대한 설문조사를 실시하였다. 국내 여건에 맞는 보행자 우선 출발신호 도입을 위한 현장 적용 조건을 수립하고 비보호좌회전 및 우회전 시범운영 대상지를 선정하여 산출된 보행자 우선 출발신호의 적정시간을 대상교차로에 적용하였다. 횡단보도 내 도착차량 속도 분석과 보행신호 위반율을 분석한 결과 보행신호 등화 시 횡단보도 내 도착차량 속도가 감소되었고, 보행신호 위반율이 개선되어 보행자가 보다 안전한 환경에서 보행하는 것이 현장에서도 확인되었다.

핵심어 : 보행자 우선 출발신호, 비보호좌회전, 우회전, 보행자, 위험

ABSTRACT

When pedestrians cross a pedestrian crossing during a pedestrian signal, there is a problem that pedestrians are exposed to the danger of traffic accidents due to permissive-left turning and right-turning vehicles. In order to solve this problem, there is an increasing demand to improve the traffic signal system to increase pedestrian safety at the signal crossing. This study aims to examine the feasibility of introducing a leading pedestrian interval(LPI) to prevent conflict between unprotected left and right turn vehicles and pedestrians. In this study, the need for LPI was surveyed by experts and the general public. As a result of the survey, many opinions indicated that the introduction of LPI was necessary. In addition, after selecting the non-protected left and right turn pilot operation targets, LPI was installed on two signal intersections. After installation, the speed analysis of the

arrival vehicle in the pedestrian crossing and the violation rate of the pedestrian signal were analyzed. As a result of analysis, when the walking signal was equalized, the speed of the arriving vehicle in the pedestrian crossing was reduced, and the violation rate of the walking signal was improved.

Key words : Leading pedestrian interval, Unprotected left turn, Right turn, LPI

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

신호교차로 내 보행자와 차량 간 상충문제는 지속적으로 대두되고 있는 문제이며, 상대적으로 교통약자인 보행자는 사고발생시 상해정도가 큰 편이다(Kim, 2019). 도로교통공단 교통사고분석시스템(Traffic Accident Analysis System, TAAS) 통계에 따르면 2017년도 전체 교통사고건수는 약 21만 건이며, 이 중 차대사람 사고건수는 약 4만6천 건으로 사망자수가 1,617명에 달하는 것으로 분석되었다.

신호교차로에서는 차량 신호나 보행자 신호에 각 이동류 간 상충점이 최소화 될 수 있는 현시 조합 및 전적색시간(all-red time) 등을 부여하고, 보행자 보호를 위한 보행전시간 등 교차로 내 사고예방을 위한 안전장치를 마련하여 운영하고 있다. 하지만, 신호교차로에서 녹색등화 시 우회전하거나 비보호좌회전하는 차량의 경우 보행신호 녹색 등화에 따라서 횡단하는 보행자와 상충하게 된다. 이때 우회전 시 제2횡단보도 또는 비보호좌회전 시 상충 횡단보도를 횡단하는 보행자를 미처 발견하지 못하게 된다면 차대보행자 교통사고의 위험이 높아진다. 우리나라의 경우, 비보호좌회전 및 우회전 시 등화 되는 횡단보도상의 보행자 안전장치는 별도로 마련된 안전대책이 없는 실정하기에 이에 따른 대책 마련이 필요한 실정이다.

스위스 등 유럽 여러 나라에서는 오래 전부터 보행자 선행 신호를 사용해온 바 있으며, 미국에서는 이러한 신호교차로 내 보행자와 비보호좌회전 또는 우회전 차량과의 상충 문제 개선을 위해 ‘보행자 우선 출발 신호(leading pedestrian interval, 이하 LPI)’를 뉴욕 등 대도시에서 시범적으로 도입하여 운영하고 있다. 뉴욕시 경우 약 2,381개 교차로에 LPI 신호체계를 도입해 운영하고 있으며, 40여 년 전인 1976년에 최초로 LPI 신호체계를 도입하였고, 3년 전부터 본격적으로 확대되었다(Samsung Traffic Safety Research Institute, 2018).

보행자 선행 신호 또는 보행자 우선 출발신호라고 불리는 LPI는 보행신호를 차량신호보다 3~11초 먼저 부여하는 교통신호체계로서 보행자들이 교차로 내에서 쉽게 눈에 띄게 할 수 있도록 하여, 비보호좌회전 및 우회전 차량과 보행자 간 상충을 예방하고자 도입되었다. 이 신호체계의 교통사고 감소 효과가 입증되어 해외에서는 점차적으로 운영범위가 확대되고 있다.

이에 본 연구에서는 보행자 교통사고 예방을 위한 LPI 신호체계를 국내 실정에 맞게 도입 및 운영할 수 있도록 적용 가능한 교차로를 선정한 후, 보행자 우선 출발신호의 적정시간을 산출하고자 한다. 또한 산출된 보행자 우선 출발신호의 적정시간을 실제 적용한 후 그 효과를 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 시·공간적 범위

자료 수집 및 현장 조사 등을 위한 본 연구의 시간적 범위는 2018년 10월~11월이며, 시범 운영이 가능한 대상지를 선정하여 전·후 조사 및 실제 현장 적용, 효과분석 등을 수행하기 위한 기간으로 2개월을 선정하

였다. 본 연구에서는 서울 도심권역과 인접하며, 첨두시 도심 및 외곽으로 이동되는 교통량이 많은 중구와 동대문구를 공간적 범위로 선정하였으며, 그 중 비보호좌회전 및 우회전 차량과 보행자 간 상충이 빈번하게 발생하는 지점을 LPI 현장 적용 대상지로 하였다.

2) 연구의 방법

본 연구에서는 LPI 적용을 위한 적정시간 산출을 위해 해외 운영 사례를 기반으로 교통전문가와 일반인을 대상으로 설문조사를 진행하였으며, 비보호좌회전 및 우회전 차량과 보행자간 상충이 빈번한 대상지를 각각 선정하여 현장조사를 실시하였다. 설문조사를 통해 산출된 LPI 적정시간을 선정된 대상지점에 실제 적용하였다. 현장 적용 전·후 조사를 통해 자료를 수집하여 그 효과를 분석하였으며, 마지막으로 LPI의 효율적인 운영을 위한 방안을 제시하였다.

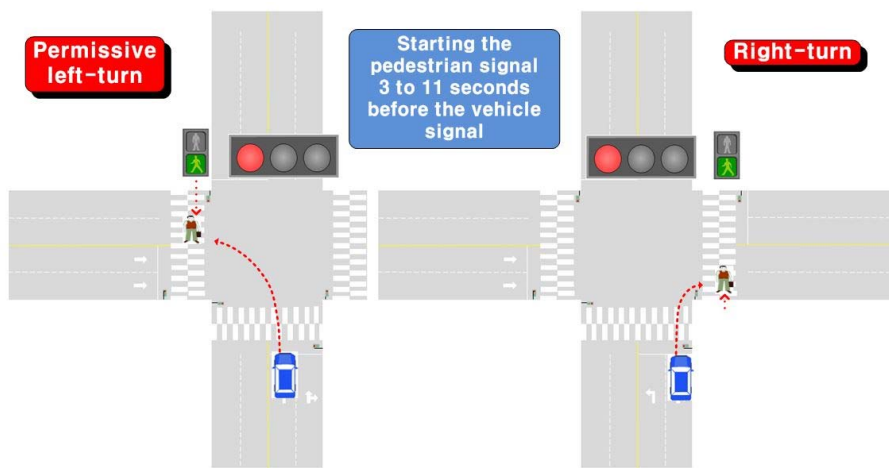
II. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

1) 보행자 우선 출발신호 개념

보행자 우선 출발신호(leading pedestrian interval, LPI)란 신호교차로 내에서 비보호좌회전 및 우회전 차량과 횡단보도 상의 보행자 간 사고예방을 위해 차량신호보다 보행신호를 먼저 등화 하여 차량 운전자들이 보행자를 인지할 수 있도록 하는 보행자 보호를 위한 교통신호체계이다(Kim, 2019).

<Fig. 1>에서 보인 바와 같이 비보호좌회전 및 우회전 차량과 보행자 간 사고예방을 위해 보행신호를 3~11초 먼저 등화 시키는 개념으로 보행자를 차량으로부터 보다 안전하게 보호할 수 있다. 기존의 신호체계에서는 차량신호가 먼저 등화 되고 비보호좌회전 및 우회전 차량이 진행한 후에 보행신호가 등화 되어 보행자가 차량 진행을 피해 횡단해야 하는 위험이 있다. 이로 인해 횡단보도를 이용하는 보행자는 항상 차량과의 교통사고 위험에 노출되고 차량 또한 후미 차량과 추돌사고 위험이 있었다. 이에 반해 LPI 신호체계에서는 차량



<Fig. 1> Concept theory

신호보다 보행신호가 먼저 등화 되는 시스템으로 횡단보도를 이용하는 보행자가 차량신호가 등화되기 전 이미 보행을 시작하기 때문에 위와 같은 보행자가 연루된 교통사고 위험성이 현저하게 줄어드는 효과가 있다. 다만, <Fig. 1>에서 보인 바와 같이 차량신호에 앞서 횡단보도 신호를 3~11초 정도 먼저 등화시키기 위해서는 다른 현시들을 모두 적색으로 운영하여야 한다. 즉, LPI를 운영하게 되면 해당 신호교차로의 지체가 증가하게 된다. 따라서, LPI는 차량 이동성 보다는 보행자 안전성이 중요한 신호교차로에 적용하는 것이 적합하다.

2) 보행자 우선 출발신호 국내외 도입 현황

해외에서는 LPI가 오래 전부터 사용되어 왔는데, 신호교차로에서 보행자 안전을 도모하고자 하는 사회적 분위기를 잘 반영하고 있다고 할 수 있다. 스위스 등 유럽에서는 LPI를 신호교차로에서 보행자 보호를 위하여 오래 전부터 사용하여 온 것으로 조사되었다. 북미 지역에서는 미국 뉴욕 및 시카고, 샌프란시스코, LA, 시애틀 등 대도시에 시범 도입되어 운영 효과가 크게 입증되었고, 각 도시 마다 변화한 교차로를 중심으로 LPI를 적용한 신호교차로 수를 늘리고 있는 추세다(Kim, 2019).

특히, 미국 대도시 가운데 가장 큰 규모인 뉴욕시의 경우 1976년에 최초로 LPI 신호체계를 도입한 후, 지속적으로 LPI 신호체계를 운영하고 있으며, 2024년까지 교통사고 사망자수를 제로로 만들기 위한 국제 운동인 ‘비전 제로(Vision Zero)’ 캠페인을 시작하면서 LPI 신호체계를 본격적으로 확대하기 시작하였다. 이로 인해 2014년 329개에 불과했던 LPI 적용 교차로를 매년 800개씩 늘려 2017년 말 2,381개로 확대 적용하였다. <Fig. 2>에서 제시된 바와 같이, LPI는 자전거 전용 도로나 보행자 보호시설 등 다른 시설에 비해 매우 저렴한 비용으로 보행자 교통사고 감소에 큰 효과를 나타낼 수 있다는 장점이 있다. 이로 인해 다른 도시는 물론, 미국 이외의 나라에서도 LPI 적용 사례가 크게 늘어날 것으로 전망되고 있다.

미국의 LPI 적용시간은 각 도시마다 다르며, 미국 Manual on Uniform Traffic Control Devices(MUTCD)에서 제시하고 있는 최소값은 3초이다. 24개의 신호교차로에서 LPI를 운영 중인 필라델피아는 3초, 보스턴에서는 3~7초 범위 내에서 LPI를 적용하고 있다. 피닉스에서는 3개의 교차로에 5초를 적용하고 있으며, 교차로 기하구조가 특이한 이형교차로의 경우는 7초 또는 8초의 LPI 신호시간을 적용하기도 한다(Kim, 2019).

LPI 신호체계가 운영되는 곳에서 교통사고 감소에 효과가 입증되어 확산되고 있다는 것은 해외에서도 보행자 사고예방을 위한 연구와 노력을 지속적으로 하고 있는 사례라 볼 수 있다(Samsung Traffic Safety Research Institute, 2018). 또한, 비교적 큰 비용을 들이지 않고도 기존 신호제어기 프로그램 제조정만으로 교통안전을 획기적으로 개선할 수 있다는 큰 장점을 갖고 있어 교통관계자들로부터 환영을 받고 있는 추세이다(Koroad, 2013).

보행자 사고의 심각성 특히, 어린이나 노인 등 교통약자의 사고위험성이 크게 대두되는 사회분위기에 반해, 현재 국내의 시범운영사례는 미흡한 것으로 조사되었다(National Police Agency, 2011).



자료 : <http://www.streetfilms.org/lpi-leading-pedestrian-interval/>

<Fig. 2> Explanation on LPI

2. 선행 연구 고찰

1) 보행시간 산정에 관한 연구

Ahn et al.(2006)은 보행신호시간에 관한 국내·외 사례 분석, 보행자특성조사, 보행신호시간 운영방법 등에 대한 설문조사 등을 통해 보행자수요, 보행자특성 및 주변지역 특성 등을 고려한 보행신호시간 산정식을 제안하였으며, 실제 운영되고 있는 현장 보행신호시간과 산정식에 의해 산출된 보행신호시간을 비교 분석하였다. 분석 결과 서울시 보행자 평균 보행속도는 1.30m/s, 15th percentile 속도는 1.11m/s로 나타났으며, 인지반응시간은 도로폭, 연령, 개인/그룹에 따라 차이가 있었다. 보행자의 수요, 보행자특성 및 횡단보도 기하구조 등을 고려한 합리적인 보행신호시간 산출 산정식을 제시하였다.

2) 비보호좌회전에 관한 연구

Oh and Jang(2017)은 보호/비보호좌회전(protected and permissive left turn, PPLT) 교차로에서의 공격적 운전 행태에 관한 연구를 군산시를 대상으로 수행하였다. 로지스틱 회귀모형 결과 운전자의 나이와 운전경력이 증가할수록 비침두시간대, 동승자가 없는 경우, 운전경력이 많은 경우, 승용차, 남성 등이 대향차량에 영향을 주는 공격적 운전행태를 보인 것으로 분석되었다. PPLT 운영 교차로에서는 비보호 좌회전 시 대향차량까지 거리가 충분히 확보되지 않을 경우 공격적인 행태를 보이게 되는데, 이에 관해 운전자 속성과 대향차량까지 거리의 관계성을 분석하였다. 나이, 동행자수 증가, 침두시간대는 근거리 대향차량에 대해 영향을 주는 반면, 남성 및 운전경력이 높을수록 중거리 및 장거리 대향차량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 승용차보다는 RV와 대향차량이 거리가 먼 대향차량에 영향을 줄 가능성이 큰 것으로 분석하였다.

3) 우회전 차량에 관한 연구

Lim and Kim(2013)은 교차로 상충 및 지체도를 고려한 우회전 교통류 처리방안에 관한 연구를 수행하였다. 우회전 교통류 분석을 위해 우회전 전용차로 및 교통섬 유무 등으로 4가지 유형을 분류하여 안전성, 지체도 측면에서 우회전 비율별, 접근로 교통량별로 세분화하여 시뮬레이션을 통해 분석을 수행하였으며, 안전성, 지체도 측면의 효과적도로는 상충횟수와 평균제어지체를 산출하여, 적신호시 우회전 금지(no turn on red, NTOR) 시행 시 우회전 유형별로 가장 효율적인 유형을 도출하였다. 시뮬레이션 분석 후 적신호시 우회전 허용(right turn on red, RTOR)과 NTOR을 시행하는 교차로를 선정하여 실제 교통사고 특성과의 분석을 통해 시뮬레이션과 연관되는 부분을 파악하였다. 분석결과 우회전 전용차로가 존재하는 유형에서 우회전비율에 상관없이 NTOR 적용이 용이하였으며, 나머지 유형은 우회전 비율별로 적정 우회전 처리방안이 상이하였다.

4) 선행 보행신호 관련 연구

Samsung Traffic Safety Research Institute(2018)는 신호교차로에서 보행자 횡단 중 교통사고 위험성을 지적하고, 교통운영 측면에서 체계적인 신호운영 전략이 필요하다고 주장하였다. 이와 관련하여 보행자 교통사고 감소를 위한 LPI 도입의 필요성 및 타당성을 제시한 바 있다. 이 연구에서는 문헌조사, 교통사고 통계 분석, 현장 조사, 그리고 VISSIM을 이용한 시뮬레이션 분석, 설문조사를 통해서 LPI의 타당성을 분석한 바 있다. 설문조사에서 동시, 후행, 선행 보행신호(LPI) 중에서 보행자의 안전확보에 가장 도움이 되는 신호유형은 LPI인 것으로 조사되었으며, 시뮬레이션 분석 결과, 선행 보행신호 운영은 유효녹색시간 감소로 인하여 지체를 증가시키는 것으로 나타났다. 정책수용성 부문에서 설문조사에 응답한 41.7%의 전문가가 국내 LPI 도입에

동의를 한 것으로 조사되었으며, LPI 운영 시 차등과 보행등 점등 시간차이는 5초 이내가 적절하다고 제시하고 있으며, 침두시간 V/c 0.8 이하의 접근로를 대상으로 검토하는 것이 바람직하다고 제안하고 있다.

Ⅲ. 보행자 우선 출발신호 관련 설문조사

1. 설문조사 개요

본 연구는 객관적이고 현실성 있는 도입방안을 제시하기 위해 해외에서 시행되고 있는 LPI 관련 기준을 중심으로 교통전문가와 일반인을 대상으로 한 설문조사 결과를 반영하여 연구의 방향을 설정하고자 한다. 설문조사는 국내 도입에 있어 가장 중요하다고 판단되는 LPI 적정시간을 산출함에 있어 국내 신호교차로의 안전성, 개선 필요성, 보행자 선점 적정 위치¹⁾ 등에 관하여 실시하였다.

2. 설문조사 대상 및 분석 결과

설문조사는 교통전문가 20명, 일반인 20명을 대상으로 실시하였으며, 성별, 연령, 교통 관련 경력, 운전경력 등 기본사항과 LPI 도입의 필요성, 현 체계의 안전성, 비보호좌회전 또는 우회전 시 차량과 보행자의 상충을 피하기 위해 필요한 보행자의 위치, LPI 도입 시 검토사항 및 문제점 등에 관해 질의하였다.

설문조사 분석 결과, 현 체계 안전성 및 개선 필요성에 대한 질의에 대부분의 응답자가 불안전 또는 개선이 필요하다고 응답(매우 필요 50%, 필요 35%, 보통 15%)하였고, LPI 도입에 대한 필요성에는 전반적으로 필요하다는 의견(매우 필요 20%, 필요 55%, 보통 20%, 불필요 5%)이 많았으며, 보행자 적정 선점위치는 비보호좌회전의 경우 2차로(1차로 45%, 2차로 45%, 3차로 10%), 우회전의 경우 1차로가 적정하다는 의견(1차로 70%, 2차로 20%, 3차로 10%)이 많은 것으로 나타났다(Kim, 2019).

Ⅳ. 분석자료 수집 및 적정시간 산출

1. 대상지 선정 조건 및 조사 방법 정의

1) 대상지 선정 조건

LPI는 비보호좌회전 및 우회전 시 등화 되는 횡단보도 상의 보행자 안전을 도모하기 위한 신호체계이다. 따라서, 비보호좌회전의 경우와 우회전의 경우에 LPI 적용성을 확인하기 위해서 적용 대상지를 선정할 후 필요한 사전 및 사후 조사를 실시할 필요가 있다. 각 대상지는 보행 수요가 일정 수준 이상으로 유지되고 차량과 보행자 상충이 꾸준히 발생하는 조건의 교차로를 각각 비보호좌회전과 우회전 상충지점으로 선정하였으며 세부적인 선정 조건 내용은 <Table 1>에서 제시된 바와 같다.

1) 보행자 선점 적정위치란 비보호좌회전 및 우회전 시 운전자가 LPI에 의해 교차로 내 횡단보도를 먼저 점유한 보행자를 확인하고 무리하게 진행하지 않고 정지하기 위해 필요한 횡단보도 상 보행자의 적정위치를 말함

<Table 1> Site selection criteria

Types	Permissive left-turn	Right-turn
Site selection conditions and common items	<ul style="list-style-type: none"> - The place where the unprotected left turn is free due to very little traffic going straight to the opposite side - The place where the walking signal is equalized in the same direction as the opposite straight signal - The place where the number of lanes is less than 4 	<ul style="list-style-type: none"> - A place where a pedestrian crossing is located inside an intersection - The place where the walking signal is equalized in the same direction as the opposite straight signal - The place where the lower lane is a straight and right turn shared lane - No bus-dedicated lanes
	<ul style="list-style-type: none"> - No traffic island - In the case of a child protection area, where there is no manpower to guide traffic 	

2) 조사 방법

대상지 선정 후 현장조사는 캠코더를 이용하여 영상자료를 수집하며 침두 및 비침두시간대 각각 1시간씩 촬영한다. 사전조사를 실시하고 영상 분석결과를 통해 산출된 LPI 적정시간을 비보호좌회전 및 우회전 해당 교차로에 실제 적용한다. 교차로 현장적용 완료 후 사후 조사를 실시하며 사전·사후 분석을 통해 횡단보도 앞 도착 차량속도 및 보행신호 준수율을 비교하여 LPI 시간의 적정여부를 분석한다.

3) 사전·사후 효과 분석 방법

LPI 효과를 측정하기 위하여 현장 적용 전 사전조사와 적용 후 사후조사를 통해 <Table 2>에서 제시된 바와 같이 횡단보도 내 도착차량 속도와 보행신호 준수율을 수집하고자 한다.

<Table 2> Effect analysis method

Types	Method
Speed analysis of arrival vehicle	<ul style="list-style-type: none"> - Investigating the time and speed at which the first vehicle arrives before the pedestrian crossing is investigated when the vehicle signal lights - Conducting an effective analysis through comparison of arrival vehicle speeds before and after LPI application
Pedestrian Signal Compliance Rate	<ul style="list-style-type: none"> - Counting the number of pedestrian traffic violation vehicles - Counting the number of vehicles invading pedestrian crossway - Counting the number of vehicles waiting in front of pedestrian crossway

도착차량 속도 분석은 비보호좌회전의 경우 선두차량을 기준으로 출발정지선에서 횡단보도 앞까지 주행 길이와 주행시간을 측정하여 도착차량 속도를 산출한다. 우회전의 경우도 동일한 방식으로 도착차량 속도를 산출하고 LPI 적용 전과 후의 차량속도의 변화를 비교한다.

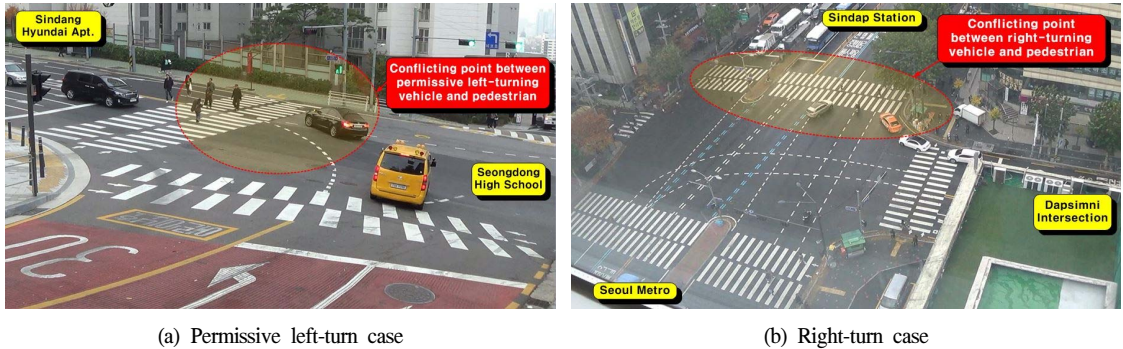
보행신호 준수율 조사를 위해 대상지점의 횡단보도를 기준으로 보행신호 등화 시 준수(차량이 횡단보도 앞에 정지하여 보행신호를 준수한 경우), 횡단보도 침범(차량이 횡단보도를 침범하여 정지한 경우), 위반(차량이 보행신호를 위반하여 진행한 경우) 세 가지 항목에 대해 조사된 사전 및 사후 영상자료를 토대로 분석하였다. 보행신호 준수율의 합리적인 조사를 위해 다음과 같은 상황을 고려하여 조사하였다.

2. 대상지 선정 및 교통체계 조사

비보호좌회전 LPI 적용 대상지로 선정된 중구 금호베스트빌아파트 교차로는 행정구역상 서울 중구에 위치하며, 남·북측 난계로 상의 4지 형태 교차로로 횡단보도 인근 버스정류장이 있어 출근시간대 횡단보도를

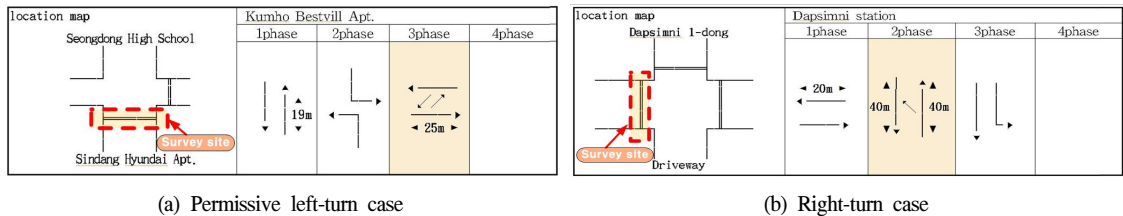
이용하는 보행자가 비교적 많이 발생하는 지점으로, 비보호좌회전 차량대비 대항 직진 교통량이 매우 적어 비보호 상충지점 선정조건에 부합하여 대상지로 선정하였다.

우회전 LPI 적용 대상지로 선정된 답십리역 교차로는 행정구역상 서울 동대문구에 위치하며, 천호대로와 북측의 전농로가 교차하는 4지 형태 교차로이다. 중랑버스전용차로가 운영되고 있으며, 교차로 서측으로 답십리역과 인근 상권형성으로 인해 보행 및 차량 교통량이 매우 많은 곳으로 북측은 우회전 공용차로 운영 및 우회전차량과 보행자 간 상충이 빈번하게 발생하는 지점이기 때문에 우회전 상충지점으로 선정하였다. 두 적용 대상지의 현황은 <Fig. 3>과 같다.



<Fig. 3> Test-beds

비보호좌회전 및 우회전 대상지로 선정된 금호베스트빌아파트와 답십리역 교차로의 현재 운영 중인 교통 신호체계는 <Fig. 4>와 같다.



<Fig. 4> Current traffic signal system

3. LPI 적정시간 산출

LPI 대상지로 선정된 교차로에 대해 사전조사를 실시하고 캠코더 영상분석을 통해 LPI 적정시간을 산출 하였다. 영상분석에 앞서 조사된 자료 내 비보호좌회전 및 우회전 상충에 영향을 미치지 못한 상황은 분석대상에서 제외하며, 세부적인 제외 조건은 아래와 같다.

- 비보호좌회전
 - 비보호 선두차량이 대항 직진차량으로 인해 출발이 지연된 경우
 - 비보호 선두차량 및 보행자가 예측 출발하거나 보행자가 없는 경우
 - 이전 신호현시에서 후미 진입차량의 신호위반으로 출발이 늦어진 경우

- 보행 시 보행자가 뛰거나 횡단보도 밖으로 보행한 경우
- 선두 비보호좌회전 차량 또는 보행자가 없는 경우

○ 우회전

- 우회전 차량 선두에 직진차량이 2대 이상 대기한 경우
- 불법정차(택시 등)로 인한 우회전 차량 출발이 지연된 경우
- 보행 시 보행자가 뛰거나 횡단보도 밖으로 보행한 경우
- 선두 우회전 차량 또는 보행자가 없는 경우

비보호좌회전 대상지의 경우, 보행신호 등화 시 보행자가 보도에서 출발한 시점부터 횡단보도 일정 지점(2차로)에 도착할 때까지의 시간을 측정하여, 1시간(28주기) 동안 횡단한 보행자들의 평균값을 산정하였다. 우회전 대상지의 경우, 비보호 좌회전과 동일하게 보행신호 등화 시 보행자가 보도에서 출발한 시점부터 횡단보도 일정 지점(하위 1차로)에 도착할 때까지의 시간을 측정하였으며, 1시간(26주기) 동안 횡단한 보행자들의 평균값을 산정하였다.

사전조사 자료를 토대로 LPI 적용을 위한 적정시간을 산출하였으며, <Table 3>에서 제시된 바와 같이 비보호 좌회전 및 우회전 대상 교차로의 평균보행시간 분석결과 비보호좌회전 5.12초, 우회전 3.55초로 산출되었다. 대상으로 선정된 교차로에 적정시간 산출 결과값을 적용하였으며, 실제 현장적용 시간은 비보호좌회전 5초, 우회전 4초를 적용하였다.

<Table 3> Optimum time results

Types	Peak hours (seconds)	Non-peak hours (seconds)	Average (seconds)	Selected Value (seconds)
Permissive left-turn	5.19	5.04	5.12	5.00
Right-turn	3.51	3.58	3.55	4.00

V. 보행자 우선 출발신호 적용 전·후 효과분석

1. 효과분석 개요

적정시간 산출 결과에 따라 비보호좌회전 대상교차로인 금호베스트빌아파트에 LPI 5초, 우회전 대상교차로인 답십리역에 LPI 4초를 각각 실제 현장 적용하고 전·후 효과분석을 실시한다. 전·후 조사된 영상자료를 토대로 차량 속도 감속여부 및 보행신호 준수율을 비교하여 LPI 적용으로 인해 횡단보도 내에서의 보행자 안전성 향상여부를 알아보려고 한다. 현장적용 전·후 사진은 <Fig. 5>와 <Fig. 6>과 같다.

2. 효과분석 결과

LPI 현장 적용 후 비보호좌회전과 우회전 대상지점의 효과분석을 실시하였으며, 횡단보도 내 도착차량 속도, 보행신호 준수율 및 위반율을 분석한 결과는 아래와 같다.



(a) Before



(b) After

<Fig. 5> Permissive left-turn case



(a) Before



(b) After

<Fig. 6> Right-turn case

1) 비보호좌회전

<Table 4>의 도차차량 속도 분석 결과, 첨두시 10.49km/h에서 9.12km/h로 1.37km/h, 비첨두시 10.87km/h에서 9.38km/h로 1.49km/h가 감소된 것으로 나타났다. 전반적으로 속도가 낮게 산출된 원인은 LPI 적용으로 인하여 차량등이 들어왔을 때 이미 보행자들이 횡단보도를 많이 점유하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

<Table 4> Access vehicle speed

Types	Before installing LPI	After installing LPI	Difference
Peak hours	10.49km/h	9.12km/h	-1.37km/h
Non-peak hours	10.87km/h	9.38km/h	-1.49km/h
Average	10.68km/h	9.25km/h	-1.43km/h

<Table 5>에서 제시된 바와 같이 보행신호 위반율은 첨두시 20.00%에서 7.28%로 약 12.72%, 비첨두시 19.38%에서 11.71%로 약 7.67% 감소하는 것으로 분석되었다. 여기서 보행신호 위반율은 전체 비보호좌회전 차량 중 보행신호 등화 시 보행자가 횡단보도에 존재함에도 불구하고 비보호좌회전을 감행한 차량의 비율로 본 연구에서는 정의하였다. 이러한 정의는 우회전 시 보행신호 위반율에도 동일하게 적용되었다.

<Table 5> Violation and compliance rate

Types	No. of violating vehicles		No. of compliant vehicles		Violation rates	
	Before	After	Before	After	Before	After
Peak hours	29	11	116	140	20.00%	7.28%
Non-peak hours	23	13	93	98	19.83%	11.71%
Average	26.0	12.0	104.5	119.0	19.92%	9.49%

2) 우회전

도착차량 속도 분석 결과, <Table 6>에서 제시된 바와 같이 첨두시 25.45km/h에서 22.12km/h로 3.33km/h, 비첨두시 22.78km/h에서 21.11km/h로 1.67km/h가 감소되었다. 전반적으로 우회전 접근 차량속도가 비보호좌회전에 비해 다소 높은 것은 우회전 운전자 시거가 비보호좌회전 대비 좋지 않기 때문인 것으로 판단된다.

<Table 6> Access vehicle speed

Types	Before installing LPI	After installing LPI	Difference
Peak hours	25.45km/h	22.12km/h	-3.33km/h
Non-peak hours	22.78km/h	21.11km/h	-1.67km/h
Average	24.12km/h	21.62km/h	-2.50km/h

보행신호 위반율은 <Table 7>에서처럼 첨두시 19.88%에서 8.74%로 약 11.14%, 비첨두시 23.84%에서 13.07%로 약 10.77% 감소되는 것으로 분석되었다.

<Table 7> Violation and compliance rate

Types	No. of violating vehicles		No. of compliant vehicles		Violation rates	
	Before	After	Before	After	Before	After
Peak hours	34	16	137	167	19.88%	8.74%
Non-peak hours	36	20	115	133	23.84%	13.07%
Average	35	18	126	150	21.86%	10.91%

VI. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구에서는 LPI 신호체계의 적정시간 산출을 위해 비보호좌회전 및 우회전 차량과 보행자 간 상충지점을 대상지로 선정하여 전·후 조사를 통한 차량속도 감속 여부와 보행신호 위반율 및 준수율 효과분석을 실시하였다.

LPI는 현재까지 국내에 시행된 바가 없으며, 본 연구를 통해 객관적이고 현실성 있는 국내 도입 방안을 제시하기 위해 교통전문가와 일반인을 대상으로 설문조사를 실시한 결과, 전반적으로 LPI 도입이 필요하다는 의견이 많았고, 보행자의 횡단보도 적정 선점위치는 비보호좌회전 2차로, 우회전 1차로가 적정하다는 결론이

도출되었다. 실제 현장 적용하기 위한 대상지의 선정조건을 수립하고 침두 및 비침두 각 1시간씩 총 2시간의 전·후 조사를 통해 도출된 LPI 적정시간은 비보호좌회전 5초, 우회전 4초로 산출되었다. 대상지 선정에 있어 비보호좌회전의 경우 대향 직진에 영향이 거의 없는 곳, 우회전의 경우 우회전 전용차로가 아닌 직진 및 우회전 공용차로 운영이 되는 곳을 주요 고려사항으로 하였다.

LPI 적정시간을 대상교차로에 현장 적용 후 사전조사와 동일하게 사후 조사를 실시하였고 비보호좌회전 및 우회전 차량과 보행자 간 상충에 대한 개선여부를 효과분석을 통해 확인해보았다. 효과분석은 비보호좌회전 및 우회전 대상교차로의 도착차량 속도 분석과 보행신호 위반율 및 준수율로 진행하였다. 현장적용 전·후 효과분석 결과 도착차량속도는 비보호좌회전 10.68km/h → 9.25km/h, 1.43km/h 감소, 우회전은 24.12km/h → 21.62km/h, 2.50km/h 감소되는 것으로 분석되었다. 보행신호 위반율은 비보호좌회전 19.92% → 9.49%, 52.35% 개선, 우회전은 21.86% → 10.91%, 50.09% 개선된 것으로 분석되었다.

LPI 전·후 효과분석 결과 도착차량 속도는 비보호좌회전 및 우회전 차량의 속도 감속효과가 있는 것으로 분석되었으나, 변화량은 미미하며 비보호좌회전 차량 보다는 우회전 차량의 횡단보도 접근속도가 다소 높은 것으로 조사되었다. 이는 운전자의 시거가 우회전 보다는 비보호좌회전 대상교차로에서 잘 확보되기 때문인 것으로 사료된다. 보행신호 위반율 및 준수율 효과분석 결과 비보호좌회전 및 우회전 대상교차로 모두 차량의 보행신호 준수율과 위반율에 개선 효과가 있는 것으로 분석되었고, 보행신호 등화 시 횡단보도 내 보행자가 차량의 위협으로부터 보다 안전한 환경에서 보행하는 것이 현장에서도 확인되었다. 결론적으로 LPI는 교통선진국인 해외에서도 효과가 입증된 만큼 본 연구의 현장적용 사례에서도 보행자 사고 예방에 효과가 있는 것으로 확인되었다. 보행자 수요가 많고 비보호좌회전 및 우회전 차량으로 인한 보행자 사고 위험이 있는 교차로에 LPI 적용은 보행자의 안전을 위한 매우 바람직한 선택일 것이다.

2. 향후 연구과제

보행자 우선 출발신호(leading pedestrian interval, LPI)라는 용어 자체도 매우 생소하게 느껴질 만큼 국내에 도입된 사례 및 관련 연구가 거의 없어 국내 신호교차로에 어떤 방식으로 도입 및 운영을 해야 할지에 대한 연구는 앞으로도 계속되어야 할 것으로 보인다. 본 연구에서는 비보호좌회전과 우회전 대상지 2개 교차로에 시범운영을 통해 효과를 확인하였으나, 다양한 형태의 기하구조를 갖는 여러 유형별교차로에서도 LPI 적정 시간 산출에 대한 연구가 필요할 것이다. 현재 국내 신호교차로는 RTOR을 기반으로 운영되고 있어 항시 우회전이 가능한 상황에 적합한 LPI 효율적인 운영방안에 관한 연구도 진행되어야 할 것이다. 또한, LPI를 적용 한 대상교차로의 사후 관리 차원으로 년도 별 사고 분석 자료를 활용하여 추적 관리하고 보완점 및 개선 방안을 도출하는 노력과 함께 빠른 시일 내 안정적으로 LPI 신호체계가 국내에 정착 될 수 있기를 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 김대경의 아주대학교 교통·ITS대학원 석사학위 논문을 기초로 작성되었습니다.

REFERENCES

- Ahn, G. H., Kim Y., Kim E. J., Lee Y. I. and Jeong J. H.(2006), “A Study on the Estimation of Pedestrian Signal Timing,” *Journal of Korea Transportation Research Society*, vol. 24, no. 5, pp.57-66.
- Kim D. K.(2019), *Study on the appropriate time for leading pedestrian intervals of traffic signal system*, Master Thesis, Ajou University.
- Koroad(2013), *Traffic Signal System Operator Manual*.
- Lim Y. and Kim D.(2013), “An Analysis of Right-turn Treatment Considering for Traffic Conflicts and Delay at Intersections,” *Journal of Transport Research*, vol. 20, no. 3, pp.65-81.
- National Police Agency(2011), *Traffic Signal Installation and Management Manual*.
- Oh D. H. and Jang T. Y.(2017), “Aggressive Driving Behavior in the Protected/Permissive Left Turn (PPLT) Intersections,” *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no.3, pp.28-38.
- Samsung Traffic Safety Research Institute(2018), *The Feasibility Analysis for Introducing Leading Pedestrian Interval to the Korean Traffic System*.