

잔류보행기반 시간대별 보행신호 운영기법 연구

Study on Time-of-day Operation of Pedestrian Signal Based on Residual Pedestrians

채 희 철* · 엄 대 룡** · 윤 일 수***

* 주저자 : 도로교통공단 경기지부 연구원

** 교신저자 : SK텔레콤 Connect Infra CO 공공Infra사업 3팀 매니저

*** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

HeeChul Chae* · Daelyoung Eom** · Ilsoo Yun***

* Senior Researcher, Dept. of Traffic Safety & Facility, Korea Road Traffic Authority

** Manager, Public Infra Business Team 3, Connect Infra CO, SK telecom

*** Professor, Dept. of Transportation Eng, Ajou University

† Corresponding author : Daelyoung Eom, agola21c@sk.com

Vol. 21 No.4(2022)
August, 2022
pp.01~17

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.4.1>

Received 30 March 2022
Revised 3 April 2022
Accepted 8 August 2022

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

우리나라 교통사고 사망자 중 보행 중 사망자가 높은 비율을 차지하고 있으며, 정책적으로 보행안전에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 보행자 교통사고가 많이 발생하는 신호교차로에서 보행환경 개선을 위하여 다양한 보행자 중심의 교통신호 운영기법 개발이 필요한 시점이다. 이에 본 연구에서는 잔류보행 기반 시간대별 보행신호 운영기법을 연구하였다. 본 연구에서는 보행수요와 잔류보행자가 증가하는 시간대에 한해서 보행신호시간을 더 늘려서 운영하는 잔류보행기반 시간대별 보행신호 운영기법을 현장에 적용하였으며, 제안한 보행신호 운영기법 적용에 따른 안전성의 차이를 통계적으로 분석하였다. 분석 결과, 현시 단위 잔류보행자율은 적용 전 20%(3.3명), 적용 후 8%(1.4명)으로 감소하였으며, 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하는 잔류보행자율이 12%(1.9명) 감소하고, 그리고 잔류보행자의 위치는 적용 전 5.2m에서 적용 후 1.9m로 3.3m 감소하는 것으로 분석되었다.

핵심어 : 보행신호, 운영기법, 시간대 운영, 보행속도, 잔류보행

ABSTRACT

As pedestrian deaths account for a high proportion of traffic accident deaths in Korea, interest in pedestrian safety is growing. In particular, it is necessary to develop various pedestrian-centered traffic signal operation techniques to improve the pedestrian environment at signal intersections. Therefore, in this study, a method for time-of-day operating a pedestrian signal based on residual pedestrians was studied. To this end, the pedestrian signal operation technique in response to the pedestrian demand, which is operated by extending the pedestrian signal time only during the time when the pedestrian demand and the number of remaining pedestrians increase, was applied to the field. The difference in safety according to the application of the new pedestrian signal operation technique was statistically analyzed. As a result of the analysis, the residual pedestrian rate decreased by 20% (3.3 people) before application and 8% (1.4 people) after application, and the residual pedestrian rate in the crosswalk at the time of red signal decreased by 12% (1.9 people). And it was analyzed that the position of the residual pedestrian decreased by 3.3m from 5.2m before application to 1.9m after application.

Key words : Pedestrian signal, Operation technique, Time-of-day, Pedestrian speed, Residual pedestrian

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경

우리나라의 2020년도 교통사고 사망자 수는 3,081명이며, 이 중에서 보행자 사망자 수는 1,093명으로 전체 사망자 수의 약 35.4%를 차지하고 있다. 특히, 보행자 사망자 수 중에서 횡단 중 사망자 수가 574명으로 보행자 사망자 수의 약 52.5%를 차지하고 있다. 횡단 중 사망자 수를 상세히 살펴보면, 횡단보도 외 사망자 수가 337명이며 보행자가 반드시 보호 받아야 되는 횡단보도 내 사망자 수는 237명(21.7%)으로 높은 비율을 차지하고 있다(Korean National Police Agency, 2022).

우리나라는 최근 ‘교통사고 사망자 수 절반 줄이기’를 국가 정책 목표로 설정한 후, 2018년부터 ‘국민생명 지키기 3대 프로젝트’를 수행하오면서 관계부처들이 합동으로 「교통안전 종합대책」을 마련한 바 있다. 「교통안전 종합대책」은 크게 보행자 우선 교통체제로 개편, 운전자 등 교통안전 책임성 강화, 교통안전 문화 확산을 중심으로 세부적인 대책들이 수립되어 있다.

이처럼, 국가의 교통안전 정책이 보행자·교통약자 중심으로 개편됨에 따라서 교통신호체계도 보행자 중심으로 개선될 필요성이 제기되었다. 이에 대응하기 위하여 2020년 경찰청에서는 「횡단보도 보행속도 기준 개선 연구 용역」(Korean National Police Agency, 2019)을 통해 「교통신호기 설치·운영·관리 업무편람」(Korean National Police Agency, 2022)을 개정하였으며, 교통약자를 위한 보행신호 운영 시 보행속도를 0.8 → 0.7m/s 하향하였다. 하지만 하향된 보행속도(0.7m/s)를 노인 및 어린이보호구역 등에만 적용하다 보니, 일반도로에서 교통약자의 횡단시간 부족 현상으로 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하고 있는 보행자가 많이 발생하고 있어 교통사고 위험에 노출되고 있다. 일반도로에서의 보행자를 위한 개선은 국토교통부에서 제시한 「사람중심으로 설계지침」(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021)에 따라 중앙보행섬, 바닥형 신호등, 대기 쉼터, 무단횡단 방지 횡스 등 물리적 시설물 설치가 우선되고, 교통신호에 대한 보행자 중심의 개선은 미미한 실정이다. 따라서 보행자 중심의 보행환경 개선을 위해서는 시설개선과 더불어 교통운영 개선이 요구된다.

2) 연구의 필요성

본 연구의 필요성은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 보행 신호시간계획은 보행수요 및 특성을 고려하지 않고 횡단보도 길이와 보호구역 지정여부로 24시간 고정적으로 운영한다는 점이다. 이로 인해 특정 시간 횡단수요가 증가할 경우 적색신호 시 횡단보도 내 잔류보행자가 발생하며, 잔류 된 보행자는 차량과의 사고 위험에 노출 되고 있다. 반면 차량 신호시간 계획의 경우 효율적인 신호운행을 위해 차량이 많은 시간 대에는 교통수요에 맞게 신호시간을 조정하는 시각제어방식(time-of-day, TOD)을 운영하고 있으며, 효과적인 TOD 운영을 위해 주기적으로 교통량 조사를 통해 차량 수요에 맞는 신호운영 개선을 진행하고 있다.

두 번째 보호구역의 범위가 통학로 전체를 포함하지 않는다는 점이다. 일반적으로 어린이보호구역 지정 범위는 학교 정문 반경 300~500m 기준으로 설정하고 있으며, 보호구역 내 신호교차로에서는 개정된 보행속도 0.7m/s를 적용하여 보행신호시간을 산정하고 있지만, 보호구역에 포함되지 않는 일반교차로의 경우 보행속도 1.0m/s를 적용하고 있어 해당 교차로를 통학로로 이용하는 보행자의 경우 충분한 횡단 보행시간을 부여받지 못하고 있다.

교통안전정책을 수립하고 추진함에 있어 보행자 중심의 패러다임 변화로 많은 시설투자가 이루어지고 있지만, 정작 교통사고가 가장 많이 발생하고 있는 신호교차로에서는 아직까지 보행자 중심이 아닌 차량 중심

의 신호체계가 유지되고 있어 보행수요가 증가하는 시간에 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하는 보행자가 많이 발생하는 문제점이 야기 되고 있다. 따라서 차량의 통행수요에 따라 신호주기 및 현시값이 결정되는 교통수요대응 신호체계(traffic responsive control, TRC)에서 보행수요에 따라 신호시간이 결정되는 보행수요대응 신호체계(pedestrian responsive control, PRC)로의 패러다임 변화가 필요하다. 즉, 보행환경 개선을 위한 다양한 보행자 중심의 신호운영 기법에 대한 연구가 필요한 시점이다.

3) 연구의 목적

본 연구는 교통사고가 가장 많이 발생하고 있는 신호교차로에서 기존의 차량 중심의 교통수요대응 신호체계에서 보행자 중심의 보행수요대응 신호체계 변화 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해, 본 연구의 목표는 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하고 있는 보행자가 많은 시간대에는 경찰청 「교통신호기 설치·운영·관리 업무편람」(Korean National Police Agency, 2022)에 근거한 보행시간 범위 내에서 잔류보행자의 위치를 기반으로 보행시간을 연장하고, 보행자 및 잔류보행자가 적은 시간대에는 일반 보행시간(1.0m/s)으로 운영하는 잔류보행 기반 시간대별 보행신호 운영기법을 통해 교차로 지체도 및 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하는 보행자 최소화를 목적으로 한다. 또한, 잔류보행기반 시간대별 보행신호 운영기법을 통한 안전적·운영적 측면을 사전·사후 비교하고 운영 적정성에 대한 평가 결과를 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 2021년 09월~11월이며, 공간적 범위는 경기도 화성시 청계동 일대 어린이보호구역과 인접한 신호교차로 중 특정 시간 보행자 수 증가로 횡단보행시간이 부족하여 적색신호 시 횡단보도 내 잔류보행자가 발생하고 이로 인해 횡단보도 내 보행자 안전성 저하 및 보행불편 민원이 지속적으로 발생하는 신호교차로 횡단보도 1개소를 선정하였다.

내용적 범위로는 잔류보행기반 시간대별 보행신호 적용을 위해 시간대별 보행수요 및 적색신호 시 잔류하고 있는 보행자를 사전 조사하고, 보행수요와 잔류보행자가 높게 발생하는 시간에 한해 잔류보행자의 위치를 기반으로 신호데이터베이스를 작성하였으며, 보행수요, 잔류보행자 및 위치를 고려한 시간대별 탄력적 보행신호 적용에 대한 운영적·안전적 측면을 비교 분석하였다. 전체적인 연구 수행절차는 연구 범위설정, 관련 이론 고찰 및 연구 시나리오 작성, 데이터베이스에 근거한 신호운영시간 데이터베이스 작성, 적용 및 분석, 결론 등으로 수행되었다.

II. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 교통신호시간계획

1) 차량신호시간계획

「교통신호기 설치·운영·관리 업무편람」(Korean National Police Agency, 2022)에서 차량신호시간계획은 교통신호 운영을 위한 현시체계, 주기길이, 녹색, 황색 및 전적색(all-red) 시간을 결정하는 과정이며, 신호시간은 신호제어 방법, 교차로 형태 및 용량, 차량 및 보행자 교통량 등에 따라 달라진다. 고정신호시간제어(fixed signal control)와 교통감응신호제어(actuated signal control)에서도 운영상 개념과 기능적 특성의 차이로 인해

신호제어 전략이 서로 다르게 설정되며, 제어되는 범위가 독립 교차로(isolated intersection)인지 혹은 간선도로 상에 위치하는 교차로인지, 연동화 시스템 내 위치하는 연동 교차로(coordinated intersection)인지에 따라 다르게 설정된다(Korean National Police Agency, 2022).

2) 보행신호시간계획

경찰청에서 발행한 「교통신호기 설치·운영·관리 업무편람」(Korean National Police Agency, 2022)은 보행신호시간 산정방법을 Equation 1과 같이 제시하고 있다. 횡단보도의 보행신호시간은 많은 이용자가 편안하게 건널 수 있도록 배려해야 하고 보행자가 횡단하는데 충분한 시간을 확보하여야 한다. 업무편람에서는 ‘보행자 신호시간은 녹색시간+녹색점멸시간으로 구분하고 녹색 점멸로 인해 이용자가 조급함을 가지지 않도록 최대한 배려해야 한다.’라고 명시되어 있으며, 2020년 12월 「횡단보도 보행속도 기준 개선 연구 용역」(Korean National Police Agency, 2019)을 통해, 노약자 등 교통약자를 고려한 보행속도 기준을 마련하여 보행속도는 보행자의 안전을 고려하여 1.0m/s를 적용하되, 어린이보호구역, 노인보호구역 등 교통약자를 위한 보행신호 운영시 0.8m/s에서 0.7m/s로 보행속도를 적용하는 것으로 개정하였다(Korea National Police Agency, 2022).

$$T = T_s + T_f = t + L / V_1 \dots\dots\dots (1)$$

- where, T = pedestrian green time(s)
- T_s= green fixed time(s)
- T_f = green flashing time(s)
- t = initial entry time(s)
- L = crossing distance(m)
- V₁= walking speed(m/s)

2. 보행자 중심의 신호체계 기법

1) 선행 보행시간

선행 보행시간(leading pedestrian interval, LPI)은 보행자 신호를 차량 신호보다 먼저 등화시켜 회전 차량이 횡단보도를 통행하는 보행자의 확인을 용이하게 하는 교통신호 운영방법이다. 우회전 또는 비보호 좌회전 차량이 진입하는 접근로의 횡단보도가 동일 현시에서 등화 될 때 보행자 신호를 3~7초 먼저 등화하는 방식으로, 이때 적용시간은 교차로 기하구조 및 통행 행태에 따라 필요한 적정 시간을 산정한다. 특히 LPI는 기형적인 기하구조 등으로 회전 차량이 진행 방향에 대한 시인성이 저하되고 보행자와 회전 차량간 상충 빈도가 높을 때 보행자와 차량 간 상충을 예방하여 교통사고를 감소시킬 수 있다. 다만, LPI만큼 진행 방향의 차량 녹색시간은 감소되어 차량 지체가 증가하므로 접근로 포화도를 고려한 운영이 필요하다.

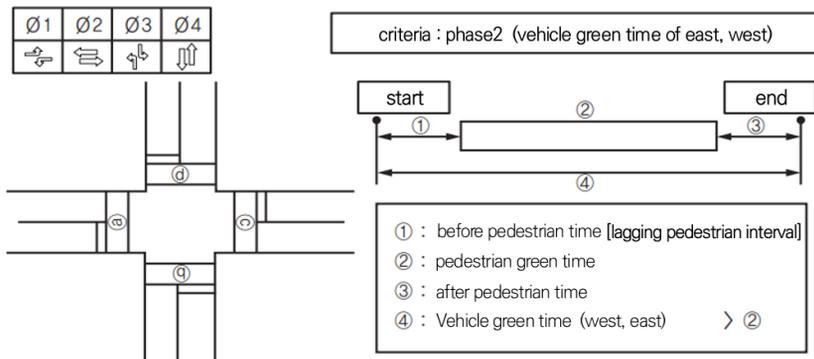
해외에서의 LPI 적용 및 운영 사례는 현재의 우리나라와 마찬가지로 보행자 안전을 도모하는 패러다임으로 바뀐 사회적 분위기를 반영하고 있다고 할 수 있다. 미국 뉴욕 및 시카고, 샌프란시스코, LA, 시애틀 등 대도시에 시범 도입되어 운영 효과가 크게 입증되었고, 각 도시 마다 변화한 교차로를 위주로 LPI를 적용한 교차로 수를 늘리고 있는 추세다. 특히, 뉴욕시의 경우 약 2,381개 교차로에 LPI를 도입해 운영하고 있으며, 40여 년 전인 1976년에 최초로 LPI를 도입하였으며, 3년 전부터 본격적으로 확대하기 시작하였다. 또한, LPI 신호체계가 운영되고 있는 교차로 104곳을 조사한 결과 보행자 사망 및 중상 등 교통사고가 크게 줄어든 것으로 나타났다(Korea National Police Agency, 2022).

Kim et al.(2019)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 안전 확보에 가장 도움이 되는 신호유형은 LPI인 것으로 조사되었으며, 시뮬레이션 분석 결과, LPI 운영은 유효녹색시간 감소로 인하여 지체를 증가시키는 것으로 나타났다. 정책 수용성 부문에서 설문조사에 응답한 41.7%의 전문가가 국내 LPI 도입에 동의한 것으로 조사되었으며, LPI 운영 시 차등과 보행등 점등 시간 차이는 5초 이내가 적절하고 첨두시간 V/C 0.8 이하의 접근로를 대상으로 검토하는 것이 바람직하다고 제안하고 있다.

Kim et al.(2020)은 비보호좌회전 및 직진 및 우회전 공용차로 운영 대상지를 대상으로 LPI의 적정시간을 산출하는 연구를 수행하였다. 이 연구에서 LPI 적정시간은 비보호좌회전 5초, 우회전 4초로 산출되었으며, 비보호좌회전 및 우회전 대상교차로의 도착차량 속도는 비보호좌회전의 경우 10.68km/h에서 9.25km/h로 1.43km/h 감소, 우회전의 경우는 24.12km/h에서 21.62km/h로 2.50km/h 감소되는 것으로 분석되었다. 보행신호 위반율은 비보호좌회전의 경우 19.92%에서 9.49%로 52.35% 개선, 우회전의 경우는 21.86%에서 10.91%로 50.09% 개선되어 선행 보행신호 운영 시 보행자 신호 위반율의 개선 효과가 높게 나타난 것으로 분석하였다.

2) 후행 보행시간(보행자신호 전시간)

후행 보행시간(Lagging Pedestrian Interval)은 횡단보도가 있는 신호교차로에서 좌회전 또는 다른 방향의 이 동류 신호시간이 종료되고 직진신호가 시작된 후 동일 방향의 횡단보도 보행자 신호가 켜지기 전까지의 초 단위 시간적 gap을 지칭한다. <Fig. 1>에서 보는 것과 같이 1현시 서→북, 동→남 좌회전과 황색신호가 종료하고 2현시 동서간 직진신호 등화 후 ②, ④ 횡단보도 보행신호 점등직전까지 시간차로서 직진신호와 동시에 동일방향 횡단보도 신호가 등화 될 경우 좌회전 또는 우회전 차량의 진행불가 직진차량의 방해로 이어지므로 이를 해소하기 위한 시간을 부여하는데 의의가 있다. 후행 보행시간인 ①과 후시간 ③은 직진신호시간 ④ 중 ②(횡단보도 녹색시간)를 제외한 시간을 분할 배분하게 된다. 또한 후행 보행시간을 부여하더라도 그 목적은 신호교차로의 형태 및 차로 수 등을 감안하여 직진 신호시간 내에서 보행자 신호시간의 시작시점을 적절히 조정, 교차로 운영의 효율을 극대화하는 것으로 기존 신호현시의 연장이나 변동을 주어서는 안 된다는 것이다. 또한 ‘후행 보행시간 부여시 유의할 점은 부여된 시간이 너무 길 경우 일정 지역에서의 통행패턴



<Fig. 1> Concept of Lagging Pedestrian Interval

을 숙지한 운전자들이 황색신호시간에도 고의적으로 교차로를 진입하여 좌회전 또는 우회전을 하려는 운전 습관이 생김으로 교통사고 위험이 높아질 수 있으므로 교차로 여건 등을 고려하여 공학적 판단에 따라 부여 하여야 한다'라고 명시되어 있다(Korean National Police Agency, 2022).

Bang et al.(2011) 보행자신호 전시간 운영효과에 대한 연구에서 미운영시에 비해 3초를 운영하였을 경우 우회전 차량 우회 가능 시간이 분할되어 차량의 최장지연시간과 주행거리 증가로 차량지체가 증가하였다. 보행량(300명/시)의 경우에는 5초부터 지체 감소 효과가 나타났으며, 7초 시 가장 낮은 차량지체를 보이는 것으로 분석하였다. 다만, 보행자신호 전시간을 길게 운영한 만큼 보행자의 횡단시간은 증가한다고 제시하였다.

3) 대각선횡단보도 신호 운영

대각선 횡단보도는 보행자가 많고 회전교통량이 적은 신호교차로에 설치를 하는 것이 일반적이다. 대각선 횡단보도는 횡단을 2번 할 경우 발생하는 보행자 대기시간이 감소하는 장점이 있다. 하지만, 현시 수 증가에 따른 차량 지체와 그에 따른 대기오염 및 용량감소의 문제가 수반될 수 있다. 일반적으로 대각선 횡단보도의 설치지역은 역 또는 학교 부근, 백화점, 상가와 같이 보행자가 많은 지역, 교통사고가 빈번한 지역, 보행자로 인하여 차량의 우회전에 문제가 있는 지역 등에 설치하면 효과적이다. 이와 같이 대각선횡단보도는 원하는 방향으로 횡단을 할 수 있어 보행자가 두 번 횡단해야 하는 불편함을 줄이고 짧은 대기시간으로 인하여 불법 횡단을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 더불어 대각선 횡단보도의 증가가 사회적 손실비용을 줄일 수 있는 장점이 있어 대각선 횡단보도의 확대 설치가 검토될 필요가 있다(Korea National Police Agency, 2022).

An et al.(2020)은 보행지체와 보행안전성을 고려한 대각선 횡단보도 설치기준 연구에서 보행지체, 차대사람 상충횡수, 차량지체, 차대차 상충횡수 개선율을 함께 고려하는 MOE를 구성하여 대각선 횡단보도 설치 전후의 효과를 시뮬레이션 분석한 결과, 대각선 횡단보도의 설치시 보행지체 감소 효과와 차대사람 상충횡수 감소에 따른 보행자 안전성 향상에 기여한다는 연구 결과를 제시하였다.

4) 보행신호 자동연장시스템

보행신호 자동연장시스템은 보행자를 검지 및 추적하는 기술을 적용하여 보행신호시간 동안 횡단을 완료 하지 못하는 보행자를 위하여 보행신호를 연장해주는 장치이다. 사전에 허용된 시간 범위 내에서 교통신호 제어기와의 통신을 통해 보행신호시간을 자동으로 연장해주어 어린이, 노약자 및 장애인 등 교통약자의 안전횡단을 지원해 준다. 시스템에서 보행신호 연장 시 신호 운영은 보행 점멸신호를 유지하는 것을 원칙으로 한다. 보행신호 연장 후 신호 전환 시에는 보행자의 안전을 보장하기 위해 2~3초간의 전적색(all-red) 현시를 삽입하도록 한다. 연동구간에서의 보행신호 자동연장시스템의 설치를 고려할 경우 연동구간의 진행대폭(band width)에 영향을 주지 않는 것을 기본 원칙으로 한다. 보행신호 연장으로 인해 차량신호에 영향을 주어 주도로의 연동 진행대폭에 영향을 주는 경우 설치하지 않는 것이 바람직하다. 만약, 주도로와 부도로의 차로 수 차이로 인해 보행녹색시간이 함께 등화되는 차량신호의 녹색시간보다 짧은 경우에는 차량신호의 녹색시간을 신호연장 임계값으로 설정하여 보행신호를 연장할 수 있다. 보행신호 자동연장시스템 운영시 보행시간 연장임계시간은 경찰청 '보행신호 자동연장시스템 표준 규격'의 연장임계시간 산정식을 참조하여 설치 장소의 횡단거리를 측정 후 연장임계시간을 5~10초까지 적용할 수 있다. 라고 명시되어 있다(Korean National Police Agency, 2022).

Kang et al.(2019)은 기존 TOD 교통신호 운영방식과 비교하여 감응방식의 보행자 중심 교통신호 운영에 관한 연구에서 보행자들이 많고 차량이 적은 지점의 경우 보행자 녹색시간이 140% 수준으로 증가하는 효과가 있으며, 결과값은 통계적으로도 유의하고, 보행자 대기행렬길이가 -2.4m(약 25%) 감소하는 것으로 분석하

였다. 보행자 1인 점유 공간은 0.265m²인 약 31%가 증가하여, 횡단보도 대기자들에 대한 서비스 수준(level of service, LOS)이 LOS C 수준에서 LOS B 수준으로 개선되는 효과를 현장 시범운영을 통하여 확인하였으며, 이는 탄력적 보행자신호 운영이 필요하다는 시사점을 제시하였다.

5) 보행시차제

보행시차제는 보행자의 안전과 편의를 위해 시간이나 요일별로 횡단보도 보행시간을 탄력적으로 운영하는 것을 말하며, 학교 앞과 사무실 밀집 지역 등 특정 시간에 보행자가 몰리는 장소로 주말에 유동인구가 많은 대형 쇼핑몰과 등산로 주변 도로를 포함하여 초등학교 앞 횡단보도 등교 및 하교시간대에 보행신호시간을 평소 운영에서 늘리는 것을 말한다. 라고 명시되어 있다 (Korean National Police Agency, 2022; Road Traffic Authority, 2017).

3. 보행속도 관련 연구

Han et al.(2020)은 노인보호구역 보행자녹색시간 산정을 위한 보행속도 기준 개선 연구에서 보행시간 산정의 기준이 되는 15th percentile 속도 결과, 전체 보행자 속도는 0.89m/s, 노인의 경우 0.85m/s, 일반인의 경우 1.00m/s로 분석하였다. 노인의 경우 노인보호구역에서는 안전한 통행이 가능하지만, 1.0m/s로 적용되는 일반 지역에서는 정상적인 통행이 어려운 것으로 나타났고, 보행 보조장치를 사용하는 보행자의 15th percentile 보행속도는 0.7m/s로 분석하였는데, 보호구역에서 적용되는 0.8m/s보다 0.1m/s가 낮은 값으로 20m 횡단보도 기준으로 3~4초의 추가시간이 필요하다고 주장하였다.

Kim et al.(2002)은 보행자 가로횡단 특성과 횡단시간 분석에 관한 연구에서 토지이용 및 보행밀도에 대한 연구를 수행하였다. 연구 결과, <Table 1>와 같이 보행자들이 횡단보도를 횡단할 때 횡단보행자 수가 많고 횡단보도의 폭이 좁아짐에 따라서 보행시간이 증가하는 것으로 나타났다.

<Table 1> Pedestrian Crossing Time according to Pedestrian Volume and Crosswalk Width

pedestrian wide×length	10	20	30	40
4m×15m	16.97 sec.	16.83 sec.	21.01 sec.	21.34 sec.
6m×15m	14.26 sec.	16.31 sec.	19.63 sec.	23.92 sec.
8m×15m	13.49 sec.	15.91 sec.	17.08 sec.	19.35 sec.
10m×15m	14.75 sec.	15.35 sec.	17.08 sec.	19.35 sec.
12m×15m	14.12 sec.	15.78 sec.	16.65 sec.	17.84 sec.

Jang et al.(2013)는 GPS 장비를 활용한 신호 횡단보도의 보행속도 연구에서 가로방향속도(longitudinal speed)는 밀도의 증가에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 나타내는데 비해, 보행자 속도의 경우, 밀도의 증가에 따라 속도가 감소하다 어느 정도 일정한 최소값에 도달하면 더 이상 감소하지 않고 일정한 경향을 나타내며, 밀도가 높을 때 횡단시간의 증가는 속도감소의 영향보다는 횡단길이 증가에 영향을 미친다고 조사하였다.

Jang and Lee(2008)은 기상 조건을 고려한 보행 약자의 횡단시간 분석에 관한 연구에서 보행속도, 인지-반응시간, 혼잡지체시간의 기상조건에 대한 변화에서 어린이에 비해 고령자가 기상조건에 민감하고 7초 이상

의 값을 적용하고 있는 곳에 대한 세분화 연구가 필요하고 시간에 영향을 미칠 수 있는 변수에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 분석하였다.

4. 잔류보행자에 대한 연구

Shim et al.(2008)은 보행신호등 녹색점멸신호의 시작시점에 관한 연구에서 6개 도시 총11개 지점에서 3,658명 대상으로 잔류 보행자에 대한 조사를 실시하였으며, <Table 2>와 같이 적색신호시 횡단보도에 남아 있는 보행자 비율은 낮게는 1.5%에서 많게는 20.7%로 조사되었다. 8차로 도로에서는 보행자 363명 중 75명 (20.7%)이 적색신호시 잔류를 하였으며, 적색신호시 횡단보도에 남아 있는 평균비율은 10%로 나타났다.

<Table 2> The number and ratio of pedestrians remaining on the crosswalk in case of a red signal.

	length of the crosswalk(m)	green time(s)	flashing time(s)	total crosswalking time(s)	total Pedestrian(p)	red signal	
						Remaining pedestrian(p)	ratio(%)
1	18.3	7	19	26	246	42	17.1
2	21.9	7	22	29	180	15	8.3
3	36.7	6	48	54	202	3	1.5
4	24.7	7	25	32	154	13	8.4
5	15	6	20	26	587	78	13.3
6	15	6	20	26	223	33	14.8
7	15.8	7	16	23	806	51	6.3
8	19.8	7	20	27	370	25	6.8
9	14.4	7	15	22	178	7	3.9
10	30.3	4	28	32	363	75	20.7
11	16.3	7	17	24	349	25	7.2
total					3658	367	10.0

5. 연구의 차별성

선행 연구 결과를 종합해보면, 국내에서는 보행자 사고 예방 및 보행자의 편의 증진에 대한 운영상의 한계를 인지하고 횡단보도 보행속도 기준 개선 용역 및 보행신호시간 적정성에 대한 연구를 통해 교통약자를 위한 보행신호운영 시 0.7m/s의 보행속도를 적용하는 개정안을 발표하였으며, 보행자 편의 개선을 위한 보행시차제 적용에 대한 언급은 있으나, 차량 정체, 효과검증 등의 이유로 일반적으로 보호구역에 한해서만 운영하고 있는 한계가 있다. 또한 선행 보행 시간, 후행 보행 시간 등 국내외에서 운영하고 있는 보행자 중심 교통신호 운영기법이 적용되고 있으나, 정해진 보행신호시간의 시작 시간을 조정하는 기법으로 일시적으로 보행수요가 늘어 잔류보행자가 증가하는 시간대에 대한 보행자 안전을 확보하기는 어려울 것으로 판단된다. 최근에는 정보통신기술을 접목하여 주어진 보행신호시간 동안 횡단을 완료하지 못하는 보행자를 위하여 보행신호를 연장해주는 보행신호 자동연장 시스템이 도입되고 있으나, 일반적으로 교차로가 아닌 단일로 및 독립교차로를 대상으로 운영을 하고 있는 한계가 있으며, 설치 비용문제 및 신호 교차로에서 효과평가가 제대로 이루어지지 않아 확대 적용까지 많은 시간이 소요될 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 기존의 보행자 중심의 신호기법과는 다른 잔류보행기반 시간대별 보행신호 운영 기법으로 단순히 보행수요 증가가 아닌 보행수요와 잔류보행으로 인한 보행자 안전이 저하되는 시간대에 한 해서 잔류보행자의 위치 및 구역의 특성을 고려하여 보행신호시간을 더 늘려서 운영하는 잔류보행 기반 시간대별 보행신호 운영기법을 적용하여 보행안전 및 편의를 증진하고자 한다.

Ⅲ. 연구의 방법론

1. 연구의 정의 및 방법

1) 잔류보행기반 시간대별 보행신호 운영기법 정의

잔류보행기반 시간대별 보행신호 운영기법은 교통약자와 일반인이 혼재된 일반교차로(보행속도 1.0m/s)에서 특정시간 보행수요 증가로 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하는 보행자에 대해 시간대별 탄력적인 보행신호시간의 필요성을 제시하는 운영기법으로 보행수요와 잔류보행자의 수를 기초로 평균이상으로 높아지는 시간대를 구분하고 보행자의 잔류 위치(m)를 기준으로 일반보행자와 교통약자가 혼재된 일반교차로에서 적용 가능한 보행속도 1.0m/s를 해당 시간에 추가적으로 부여하는 기법이다.

2) 연구방법

신호교차로에서 잔류보행 기반 시간대별 보행신호 운영기법 적용을 위한 연구수행 과정은 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 적정 시간대의 구분이다. 기존 연구고찰 결과, 보행량이 많고 밀도가 높을수록 횡단 보행자 속도가 감소하는 것으로 조사되어 보행수요를 고려하였으며, 본 연구에 목적에 맞는 시간대별 특성을 고려하기 위해 적색신호시 잔류하는 보행자의 수를 선택하고 시간대 구분의 기준으로 두 값이 평균 이상으로 높게 발생하는 시간대를 적용구간으로 결정하였다.

두 번째는 「교통신호기 설치·운영·관리 업무편람」(Korean National Police Agency, 2022)에서 정하고 있는 보행신호시간에서 보행수요와 잔류보행자의 발생이 높은 시간대에 추가적인 시간을 얼마나 부여할지에 대한 부분이다. 보행속도에 대한 기존 연구고찰 결과, 보행속도 1.0m/s를 적용 시 교통약자 측면에서 보행시간이 부족한 것으로 나타났다. 반면 보행시간이 과도할 경우 인접교차로와 연동을 위한 주기 불일치, 횡단보도별 최소녹색시간 준수에 따른 차량의 지체시간 증가 문제가 발생하는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에서는 일반교차로에서 보행자 신호시간 확보와 차량의 지체시간을 최소화 할 수 있는 방안을 목적으로 조사된 보행자의 잔류 위치를 기준으로 일반보행자와 교통약자가 혼재된 일반교차로에서 적용 가능한 보행속도 1.0m/s를 추가적으로 부여하여 보행시간을 연장하는 방법을 결정하였다.

세 번째는 잔류보행 기반 신호운영 체계 적용에 따른 효과평가를 위한 지표선정이다. 본 연구는 보행수요 및 잔류보행자가 많은 시간대별로 추가적인 보행시간을 부여하여 횡단보도 내 보행자의 안전성을 향상시키고자 하는 연구의 목적을 달성하기 위해 효과평가 지표로 적색 신호시 횡단보도에 잔류하고 있는 잔류보행량과 잔류보행자의 위치를 사용하였다. 잔류보행량은 적색신호시 잔류하는 모든 보행자의 수를 조사하였으며, 잔류보행자의 위치는 사전조사를 통해 진행방향의 가장 긴 끝지점에서부터 1m 간격으로 적색신호시 횡단보도 내 잔류하고 있는 최장거리의 보행자로 조사하였다. 잔류보행 기반 신호운영 체계 적용 전·후의 잔류보행량 및 보행자의 위치는 영상녹화 자료를 활용하여 비교 분석 하였다. 자료에 대한 신뢰도 검증은 통계적 분석을 통해 검증하였으며, 시간대별 신호운영시간 데이터베이스는 보행수요와 잔류보행자의 수를 기초로

시간대를 재구성하고 추가적인 보행신호시간은 잔류 보행자의 평균 위치를 기초로 사용하였다. 교통안전 측면뿐만 아니라 운영적 효율분석을 위해 교통모의분석 프로그램 VISSIM을 활용하여 잔류보행 기반 시간대별 보행신호 운영체계 적용 전·후 교차로 지체도 및 상충분석을 실시하였다.

2. 자료수집 및 데이터베이스 구축

1) 적용 대상지

본 연구는 보호구역과 연속성이 있는 인접 일반교차로(보행속도 1.0m/s 적용) 중 특정시간 보행자수 증가로 횡단보행시간이 부족하여 적색신호 시 횡단보도 내 잔류보행자가 발생하고 이로 인해 횡단보도 내 보행자 안전성 저하 및 보행불편 민원이 지속적으로 발생하는 경기 화성시 청계동 소재 우남퍼스트 빌 앞 교차로 횡단보도를 대상지로 선정하였다. 교차로 및 신호시간계획 현황은 <Fig. 2>와 같다. 초등학교 어린이보호구역 지정 범위 밖에 위치하고 있지만 등·하교 시간대 주통학로 사용하는 횡단보도로 일반보행자와 어린이 보행자의 횡단 보행량이 많은 지점이다. 보호구역으로 지정되지 않은 일반교차로로 횡단 보행시간은 업무편람에서 정하고 있는 1.0m/s를 전일제로 운영하고 있는 것으로 조사되었다.

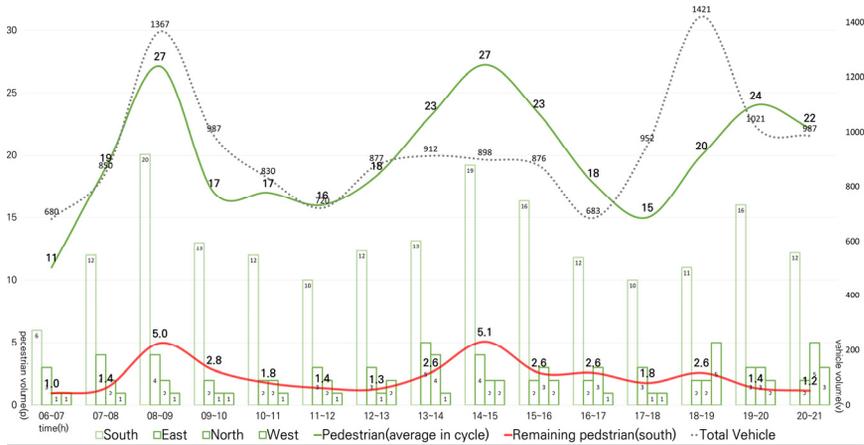


<Fig. 2> Intersection and Signal Operational Status

2) 조사항목 및 방법

보행량, 교통량, 잔류보행량, 잔류보행자의 위치에 대한 자료수집은 2021년 09~10월 평일에 조사하였으며, 잔류보행이 많이 발생하는 시간대를 파악하기 위하여 06시부터 21시까지 약 15시간에 대해 시간대별 기초 조사를 실시하였다.<Fig. 3>에서 보인 바와 같이 전체 접근로 1시간 교통량은 08~09시(1,369대), 18~19시(1,421대) 집중되는 반면 4개의 횡단보도의 시간대별 보행신호 시 평균 보행자는 08~09시(27명), 14~15시(27명)으로 차량 교통량과 보행자가 집중되는 시간대가 다르게 나타났다. 인근 학원이 밀집하고 있어 19~20시(24명)에 평균 보행수요가 증가하고 있지만 중·고등학생과 성인의 비율이 높아 횡단보도의 잔류보행자(1.4명)

으로 상대적 다른 시간에 비해 낮게 나타났다. 신호교차로에서 설치된 4개의 횡단보도 중에서 서쪽에 위치한 횡단보도 <Fig. 2>에서 화살표로 표시된 부분의 이용률이 가장 높게 나타났고, 서쪽 횡단보도의 잔류보행자는 08~09시(5명) 14~15시(5.1명)로 보행량이 높게 나타나는 시간에 잔류보행자도 높게 나타났다. 나머지 3개 횡단보도는 이용률 및 잔류보행량이 극히 적은 것으로 조사되어 잔류보행 기반 시간대별 신호운영기법 연구의 목적에 부합하도록 서쪽 횡단보도에 대해서만 새로운 보행신호 기법을 적용하는 것으로 결정하였다. 잔류보행 기반 시간대별 신호운영기법 적용 결과의 분석 정확도를 높이기 위하여 적용 전, 후 동일 기간 및 시간의 자료를 활용하였다.



<Fig. 3> The results of Average Remaining Pedestrian Volume (in hour)

3) 신호운영시간 데이터 베이스 구축

본 연구에서는 기초자료를 통해 조사된 보행량 및 잔류보행량 자료를 근거로 보행수요와 잔류보행량이 많은 시간에 추가적인 보행시간을 부여하여 <Table 3>과 같이 신호운영시간 데이터 베이스(DB)를 구성하였으며, Existing은 현황이며, Proposed는 잔류보행 기반 시간대별 신호운영기법 적용을 의미한다. <Table 3>에서 서쪽 방향 3현시 횡단보도 보행시간 연장을 위해 차량신호 1, 2현시의 신호시간을 각각 4초, 1초 축소하여 연구의 목적에 부합하도록 서쪽 횡단보도 3현시에 대해서만 증가하는 것이 바람직하나 시간대별 차량신호 운영과 달리 보행신호시간의 경우 시간을 구분하여 적용할 경우 신호시간 전이 발생 시 잔여시간 표시기 오류 및 횡단보도 보행시간 중 보행시간이 소멸되는 현상이 발생하는 경우가 있어 보행자 안전을 최대한 고려하는 범위에서 4현시에 보행시간을 연장하는 방법을 선택하였다. 데이터 수집은 06:00부터 21:00까지 시간 중 보행시간을 연장하는 시간대를 구분하고 기존의 TOD를 더 세분화하여 기존 4개에서 6개 시간 (05:00~08:00), (08:00~09:00), (09:00~12:00), (12:00~16:00), (16:00~22:00), (22:00~05:00)의 신호운영시간 데이터 베이스를 구성하였으며, (08:00~09:00)와 (12:00~16:00)에 대한 보행량, 잔류보행량 및 잔류보행자의 위치를 횡단시간 단위로 조사하였다. 참고로 주기 길이(cycle length)는 110초로 모두 동일하다.

<Table 3> Database scenario of signal operation time

		Cycle	Offset	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	remark
Signal Time	05:00~08:00	110	18	25(3)	25(3)	20(3)	7	21(3)	Existing
	08:00~09:00		18	21(3)	24(3)	20(3)	12	21(3)	Proposed
	09:00~12:00		48	25(3)	25(3)	20(3)	7	21(3)	Existing
	12:00~16:00		28	21(3)	24(3)	20(3)	12	21(3)	Proposed
	16:00~22:00		48	25(3)	25(3)	20(3)	7	21(3)	Existing
Pedestrian Time	05:00~08:00	-	-	21	23	27	-	28	Existing
	08:00~09:00			21	23	32	-	32	Proposed
	09:00~12:00			21	23	27	-	28	Existing
	12:00~16:00			21	23	32	-	32	Proposed
	16:00~22:00			21	23	27	-	28	Existing

3. 분석방법

1) 통계분석

본 연구에서는 적용전, 적용후 잔류보행자율(적색신호시 횡단보도 내 잔류보행자수/횡단보행자수)과 잔류보행자 위치 데이터에 대한 정규성 검토를 위해 Kolmogorov-Smirnov(KS) 검정을 실시하였다. 검정결과 모집단의 p값이 0.05이하로 표본의 모집단이 정규분포를 이루고 있지 않다고 나타났다. KS검정은 모집단과 표본의 분포함수의 적합도를 비교하여 분포의 정규성을 검정하는 방법으로 p값이 0.05 보다 크게 나타나야 귀무가설을 채택하고 모집단이 정규분포를 이루고 있다는 것을 의미한다. 정규성 검정 후 모집단이 정규분포를 따르지 않아 두 집단의 통계적 분석을 위해 비모수통계 검정을 결정하였다. 비모수 검정이란 모집단이 정규성을 만족하지 못할 때 사용하는 검정으로, 두 모집단의 관계에 따라 두가지 종류로 분류된다. 두 모집단이 서로 연관성을 가진다면, 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 두 모집단이 서로 독립이라면, wilcoxon rank sumtest, Mann - Whitney test 검정을 사용한다. 본 연구에서는 동일한 횡단보도라는 연관성을 가지고 있어 윌콕슨 부호 순위 검정을 통해 두 집단의 비모수통계 분석을 실시하였다.

2) 프로그램 분석

보행 및 차량 신호시간 변화에 따른 운영적인 분석을 위해 미시적 교통시물레이션 프로그램 VISSIM을 사용하였다. 해당 프로그램은 신호교차로 분석에서 횡단보도 신호시간 변경과 보행자와 차량의 상충을 고려한 차량의 지체도, 대기행렬 분석에 대한 평가가 가능하여 보행 및 차량 신호시간 변화에 대한 비교 대안을 평가하기 위해 사용되는 프로그램이다. 분석은 교통량과 보행량이 높게 나타나는 오전 첨두(08~09시)를 대상으로 보행량, 교통량을 전, 후 동일하게 적용하였으며, 신호데이터베이스 변화에 따른 차량 지체도, 접근로별 대기행렬의 변화를 분석하였다. SSAM(Surrogate Safety Assessment Model)은 FHWA에서 개발한 대리안전평가 평가 모형이며, VISSIM등의 미시적 교통시물레이션 모형과 자동화된 상충 분석기법이 결합 된 모형의 프로그램이다. 본 연구에서는 보행자의 신호시간 변화에 따른 차량과 보행자의 상충을 비교 분석하기 위해 사용하였다. Wu(2018)는 VISSIM과 SSAM 모델을 사용하여 교차로에서 보행자와 차량의 상충에 대한 연구에서 차대사람의 상충횟수와 가장 유사한 수준의 SSAM 분석 결과를 만들기 위해서 TTC와 PET값을 각각 2.7초, 8초로 설정할 때 가장 높은 상관관계가 나타난다고 조사하였다. 본 분석에서도 차대 사람의 상충 감지를 위

해 해당 연구 결과 값을 적용하고 직각충돌형 상충(crossing)의 각은 80도 이상으로 설정하여 분석하였다,

IV. 적용 결과 분석 및 평가

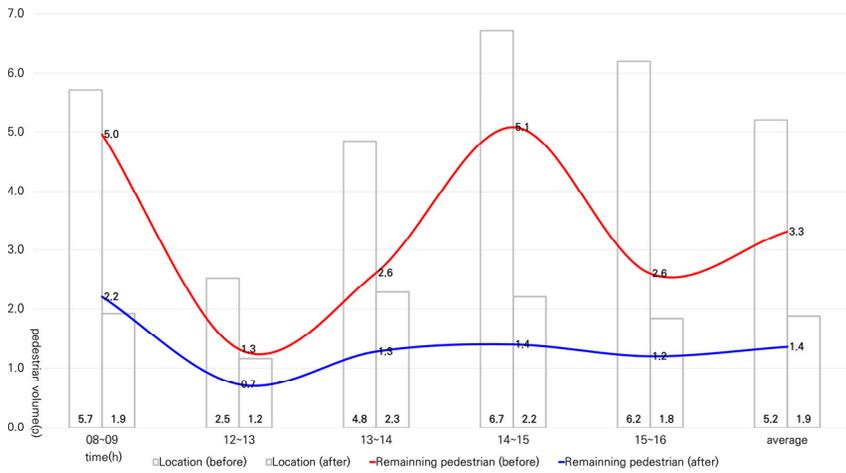
1. 적용 결과 분석

1) 잔류보행량 및 보행자의 위치 변화

<Table 4>에서 보인 바와 같이 적용 전과 후의 횡단 보행량의 변화는 평균 16명으로 크게 차이하지 않았으며, 오전(08~09시)의 경우 적용 전과 후 횡단보도 점멸시간에 진입하는 보행자로 인해 잔류보행자 발생이 높게 나타나는 경향을 보였다. 현시 단위 잔류보행자율(적색신호시 횡단보도 내 잔류보행자수/횡단보행자수)는 적용 전 20%(3.3명), 적용 후 8%(1.4명)으로 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하는 잔류보행자율이 12%(1.9명) 감소하는 것으로 나타났다. 잔류보행자의 위치는 적용 전 5.2m에서 적용 후 1.9m로 3.3m 감소하는 것으로 나타났다. 잔류보행자 감소율이 높게 나타나는 시간대는 오후(14~15시) 적용 전 26%(5.1명)에서 적용 후 7%(1.4명)으로 19%(3.7명) 감소하였으며 잔류보행자의 위치에 대한 감소가 높게 나타나는 시간대는 오후(15~16시) 적용 전 6.2m에서 적용 후 1.8m로 4.4m(70%) 감소하는 것으로 나타났다.

<Table 4> The Average Remaining Pedestrian Volume & location

time	Before				After				Before - After			
	total (p)	remain (p)	ratio (%)	location (m)	total (p)	remain (p)	ratio (%)	location (m)	remain (p)	ratio (%)	location (m)	ratio (%)
08~09	20.0	5.0	25%	5.7	19.0	2.2	12%	1.9	2.8	13%	3.8	66%
12~13	12.0	1.3	11%	2.5	11.0	0.7	6%	1.2	0.6	4%	1.4	54%
13~14	13.0	2.6	20%	4.8	14.0	1.3	9%	2.3	1.3	11%	2.6	53%
14~15	19.0	5.1	26%	6.7	19.0	1.4	7%	2.2	3.7	19%	4.5	67%
15~16	16.0	2.6	16%	6.2	19.0	1.2	6%	1.8	1.4	9%	4.4	70%
average	16.0	3.3	20%	5.2	16.0	1.4	8%	1.9	1.9	12%	3.3	62%



<Fig. 4> The Average Remaining Pedestrian Volume & location

2) Vissim 분석결과

본 분석은 보행신호 연장 전, 후에 대한 분석을 <Fig. 5>와 같이 실시하였다. 분석 대상 시간은 교통량과 보행량이 높게 나타나는 오전 첨두(08~09시)를 대상으로 분석을 하였으며, 동일한 조건 하에 차량신호 변경에 대한 교차로 차량지체도, 대기행렬 분석 및 상충분석을 실시하였다. 분석결과 적용 전 차량지체도 38.13초/대 에서 적용 후 41.21초/대 지체도가 3.07초/대 (7.45%) 증가하였다. 서측접근로 대기행렬의 경우 적용 전 9.22m에서 적용 후 10.25m로 대기행렬 1.03m (10.05%) 증가하였으며 남측접근로 대기행렬은 적용 전 35.43m에서 적용 후 37.53m로 대기행렬 2.1m (5.6%) 증가 하였다. SSAM은 미국 FHWA에서 개발한 도로에서의 상충 발생 분석 프로그램으로서 미시교통시뮬레이션 모형과 상충분석기법이 결합된 모형으로 VISSIM 등의 교통시뮬레이션 모형에서 생성된 도로 기하구조 및 각각의 차량 경로 데이터를 이용하여 차량 간 상충 발생 여부를 분석하고 교통사고 발생건수 예측을 통한 교통안전성을 측정하는 소프트웨어로 대리안전척도모형으로 직각충돌형 상충(crossing) 각 80도 이상에서 상충 횟수는 25에서 25로 변화가 없었다.



			Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	remark
Time		offset						
Before	Signal	18	25(3)	25(3)	20(3)	7	21(3)	Case1
	Pedestrian	-	21	23	27	-	28	
After	Signal	18	21(3)	24(3)	20(3)	12	21(3)	Case2
	Pedestrian	-	21	23	32	-	28	

Simulation result	vehicle Delay (sec/vehicle)	LOS	Q-LEN(m)		Conflict crossing
			WEST	SOUTH	
Before	38.14	C	9.22	35.43	25
After	41.21	C	10.25	37.53	25
Ratio(%)	+ 3.07	-	+ 1.03	+ 2.1	

<Fig. 5> The Results of Vissim Simulation

3) 분석결과 종합

보행수요와 잔류보행자가 많은 시간대에 추가적인 보행시간을 적용하여 보행자의 잔류 및 위치 변화를 분석한 결과 횡단보도에 대한 현시 단위 잔류보행자율(적색신호시 횡단보도 내 잔류보행자수/횡단보행자수)은 적용 전 20%(3.3명), 적용 후 8%(1.4명)으로 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하는 잔류보행자율이 12%(1.9명) 감소하고 잔류보행자의 위치는 적용 전 5.2m에서 적용 후 1.9m로 3.3m 감소하는 것으로 나타났다. 잔류보행자 감소율이 높게 나타나는 시간대는 오후(14~15시) 적용 전 26%(5.1명)에서 적용 후 7%(1.4명)으로 19%(3.7명)감소 하였으며 잔류보행자의 위치에 대한 감소가 높게 나타나는 시간대는 오후(15~16시) 적용전 6.2m에서 적용 후 1.8m로 4.4m(70%) 감소하는 것으로 나타났다. 오전(08~09시)의 경우 보행지도 및 횡단에 대한 보행자의 도움으로 어린이들의 횡단 집중도는 높게 나타났으나, 횡단보도 점멸시간 후 보행자 진입으로 잔류보행자가 높게 나타나는 경향을 보였다. 오후(14~15시)에 잔류보행자의 위치 증가는 어린이 보행자의 집중력 저하가 일어나 횡단보도 내 친구와 인사 등 돌발 행동을 보이는 경우가 발생하였으며 조사 중 보호자를 동반하는 어린이의 경우 잔류보행이 발생하는 빈도가 낮았으나 보호자가 없는 어린이의 경우 횡단보도 내 잔류보행 및 위치가 상대적으로 높게 나타나는 경향을 보였다. 또한, 지체도 분석결과 적정 수준의 교통량(1,369대)에서는 지체도 차이가 10% 이내로 차이가 나타나지 않았다.

2. 통계적 분석

1) 잔류보행 및 잔류보행자 위치에 대한 비모수검정 결과

잔류보행 기반 시간대별 보행시간 연장에 대한 잔류보행자율(적색신호시 횡단보도 내 잔류보행자수/횡단보행자수) 및 잔류보행자 위치는 정규분포를 따르지 않기 때문에 비모수 윌콕슨 부호 순위 검정의 대응표본으로 비교 분석을 실시하였다. 분석결과 <Table 5>과 같이 적용 전 잔류보행자율 평균은 0.1889이며, 적용 후 잔류보행자율 평균은 0.0844으로 평균 -0.1045 감소하였으며, 적용 전 잔류보행자 위치의 평균은 5.20이며, 적용 후 잔류보행자 위치의 평균은 1.88으로 평균 -3.32 감소하였다. <Table 6> 윌콕슨 부호순위 검정 결과 잔류보행자율과 잔류보행자의 위치의 음의 순위값이 양의 순위값보다 높게 나타나고 있어 유의한 수준으로 개선되었음을 나타내고 있다. <Table 7>와 같이 잔류보행자율 및 보행자의 위치는 유의확률(sig.) .000으로 유의수준 0.05보다 작게 분석되었다. 따라서 신호시간 증가에 따른 잔류보행량 및 보행자의 위치 감소는 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다.

<Table 5> Technical Statistical Analysis

paired		Mean	N	Std. Deviation	Min	Max
remaining pedestrian	Before evaluation	.1889	125	.09984	.00	0.47
	After evaluation	.0844	125	.05937	.00	0.38
remaining location	Before evaluation	5.2000	125	2.18130	.00	8.00
	After evaluation	1.8800	125	.98045	.00	3.00

<Table 6> Wilcoxon signed rank test

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
remaining location (after-before)	Negative Ranks	109 ^a	60.52	6597.00
	Positive Ranks	6 ^b	12.17	73.00
	Ties	10 ^c		
	Total	125		
remaining pedestrian (after-before)	Negative Ranks	99 ^d	63.90	6326.50
	Positive Ranks	17 ^e	27.03	459.50
	Ties	9 ^f		
	Total	125		

<Table 7> Test Statistics

	remaining pedestrian (after-before)	remaining location (after-before)
Z	-8.085 ^b	-9.145 ^b
Asymp. Sig (2-tailed)	.000	.000

3. 결론

본 연구에서는 특정시간 보행수요와 잔류보행자가 증가하는 교차로 내 일부 횡단보도를 대상으로 해당시

간대 보행신호시간을 연장 운영하는 잔류보행기반 시간대별 보행신호 운영기법을 적용하여 운영적 효과를 정량적으로 비교 분석하였으며, 적용에 대한 차이를 통계적으로 분석하였다. 분석결과, 현시 단위 잔류보행자율(적색신호시 횡단보도 내 잔류보행자수/횡단보행자수)는 적용 전 20%(3.3명), 적용 후 8%(1.4명)으로 적색신호 시 횡단보도 내 잔류하는 잔류보행자율이 12%(1.9명) 감소하고 잔류보행자의 위치는 적용 전 5.2m에서 적용 후 1.9m로 3.3m 감소하는 것으로 분석되었으며 그 값은 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다. 신호시간 변경에 대한 차량지체도 분석결과 총지체시간의 차이가 3.07초/대 증가로 신호시간 변경에 대한 차이는 크지 않았다. 전일제로 운영되는 보행시간운영에 있어 잔류보행 기반 시차제 보행신호를 운영하더라도 교차로 지체도에 영향을 크게 주지 않고 잔류보행량을 줄이는 효과가 있어 보행자 편의 개선을 위한 확대 연구가 필요하다는 점을 시사한다. 다만 본 연구는 무단횡단 보행자, 횡단보도 외 통행, 교통약자 혼재 비율 등 다양한 변수를 고려하여 보행량에 따른 보행시간을 속도로 환산하여 연장하는 것이 바람직하나 일반적인 신호교차로 특성 상 횡단보도별 최소녹색시간 준수, 보행신호 최대값 범위 제한과 인접 교차로의 연동을 위한 주기 변경의 제약으로 잔류보행자 위치의 평균 값을 기준으로 일반교차로 보행속도(1.0m/s)를 적용하여 연장하였으며, 신호시간 전이 발생 시 잔여시간 표시기 오류 및 횡단보도 보행시간 중 보행시간이 소멸되는 현상으로 표본수를 많이 확보하지 못한 한계가 있다. 우회전 단속강화 이전 상황에서 우회전 차량과 보행자의 상충에 대한 사고위험을 고려하지 않은 결과로, 잔류보행 기반 시간대별 신호운영기법과 향후 보행 신호시간이 우선 결정되는 보행수요대응 신호체계(pedestrian responsive control, PRC)로의 패러다임의 변화를 위해서는 단일교차로가 아닌 네트워크 단위의 다수 교차로를 대상으로 교차로 여건에 맞는 적용기준 및 운영방안에 대한 지속적인 연구를 통해 보행안전과 교통운영의 적절한 기준을 마련할 수 있기를 기대해 본다.

REFERENCES

- An, H. J. and Lee, Y. I.(2020), “Criteria Analysis for Scramble Crossings considering Pedestrian Delay and Safety”, *Journal of Transport Research*, pp.33-45.
- Bang, S. H., Kim, Y. C. and Han, Y. H.(2011), “A Study on Operating Effect of Adjusting Pedestrian Green Phasing”, *Korean Society of Transportation*, vol. 64, pp.593-597.
- Federal Highway Administration(2022), *Surrogate Safety Assessment Model*.
- Han, E., Cho, H. R., Mun, S. C., Yun, S. B. and Park, S. Y.(2020), “Improvement of Pedestrian Speed Criteria for the Pedestrian Green Interval at Silver Zone”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 4, pp.45-54.
- Jang, H. S. and Lee, Y. I.(2008), “An Analysis Of Weak Pedestrians’ Crossing Timing Based On Weather Conditions”, *Journal of Korea Society of Transportation*, 59, pp.432-437.
- Jang, S. H., Lee, E. H., Kim, H. S. and Lee, C. W.(2013), “Research on Pedestrian Speed at Crosswalk Using GPS Equipment”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, pp.453-456.
- Kang, J. D., Jo, Y. B., Yang, J. W., Kim, J. T. and Kim, Y. C.(2019), “Traffic Signal Operation Supporting Pedestrian Friendly Metropolitan City of Seoul”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 16, no. 3, pp.49-55.
- Kim, D. G., Yoon, S. Y., Yoon, J. S., Kim, S. O. and Yun, I. S.(2020), “Study on the Appropriate Time for Leading Pedestrian Intervals”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 3, pp.1-13.

- Kim, S. O., Jang, H. S. and Jo, J. H.(2019), “The Feasibility Analysis for Introducing Leading Pedestrian Interval(LPI) in Korea”, *Transportation Technology and Policy*, vol. 16, no. 2, pp.14-23.
- Kim, T. H., Woon, J. M. and Lee, S. I.(2002), “An Analysis of the Pedestrian Walking Time and Crossing Behavior Characteristics”, *Korea Planners' Association*, vol. 37, no. 7, pp.169-180.
- Korean National Police Agency(2019), *Research service for improving pedestrian speed standards on crosswalks*.
- Korean National Police Agency(2022), *Traffic signal Installation and operation, Management Guidelines*.
- Korean National Police Agency, Road Traffic Authority(2017), *Guidebook for Safety Facilities to Prevent Pedestrian Accidents*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2021), *People-centered road design guidelines*.
- Shim, K. B., Ko, M. S. and Kim, J. H.(2008), “A Study on the Beginning Time of Flashing Green Signals for Pedestrians”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 5, pp.91-100.
- Wu, J., Radwan, E. and Abou-Senna, H.(2018), “Determination if VISSIM and SSAM could estimate pedestrian-vehicle conflicts at signalized intersections”, *Journal of Transportation Safety & Security*, vol. 10, no. 6, pp.572-585.