

보행대기시간과 보행자스트레스를 고려한 보행자우선 감응신호 운영방안 연구

A Study on Pedestrian Priority Actuated Signal Control Considering Waiting Time for Walking and Pedestrian Stress

최 봉 수* · 남 두 희**

* 주저자 : ㈜에스유아이씨티 상무/한성대학교 경제부동산학과 박사과정

** 교신저자 : 한성대학교 사회과학부 교수

Bongsoo Choi* · Doohee Nam**

* Executive director, SUICT Co., Ltd, Dept. of Economics & Real Estate, Hansung University

** Professor, School of Social Sciences, Hansung University

† Corresponding author : Doohee Nam, doohee@hansung.ac.kr

Vol. 21 No.4(2022)
August, 2022
pp.18~29

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.4.18>

Received 4 July 2022
Revised 26 July 2022
Accepted 8 August 2022

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

요 약

주도로 차량 위주의 좌회전감응신호운영은 보행대기시간은 더 늘어날 수 있기 때문에 이는 보행자의 불편 또는 스트레스를 유발하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 좌회전감응신호 적용 전·후의 보행대기시간과 설문조사를 통해 보행자가 느끼는 스트레스를 살펴보았으며 이를 개선하기 위하여 보행자우선 감응신호 시뮬레이션(VISSIM) 분석을 하였다. 좌회전감응신호 적용 후 보행대기시간은 비첨두시간에 37% 증가했다. 설문 결과 보행대기시간이 길어졌다가 62.1%, 그 중 78%는 그로 인하여 스트레스를 받는거로 나타났다. 한편 보행자우선 감응신호 시뮬레이션(VISSIM) 분석 결과, 차량 통행속도는 1.07km/h(2.5%)로 소폭 감소한 반면 보행 평균대기시간은 15.51초(28%) 감소하여 크게 개선되었다. 따라서 보행자우선 감응신호는 보행 대기시간을 감소시켜 보행자 스트레스를 완화할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : 좌회전감응신호, 보행대기시간, 보행자스트레스, 보행자동신호기, 보행자우선 감응신호

ABSTRACT

Since the operation of an left-turn actuated signal driven mainly by vehicles may increase the waiting time for walking, this signal causes inconvenience or stress to pedestrians. Therefore, in this study, the change in waiting time for walking before and after the application of an left-turn actuated signal and the stress on the pedestrians were investigated through a questionnaire. The investigation showed that the waiting time for walking increased by 37% during non-peak time. Also the waiting time for walking of 62.1% of pedestrians became longer and 78% of them were stressed because of it. Meanwhile, simulation(VISSIM) showed that the vehicle travel speed slightly decreased to 1.07km/h(a 2.5% decrease), and the average waiting time for walking decreased by 15.51sec(a 28% decrease) with a pedestrian priority actuated signal. Therefore, it is expected that the pedestrian priority actuated signal can reduce the waiting time for walking and relieve pedestrian stress.

Key words : Left-turn actuated signal, Waiting time for walking, Pedestrian stress, Pedestrian actuated controller, Pedestrian priority actuated signal

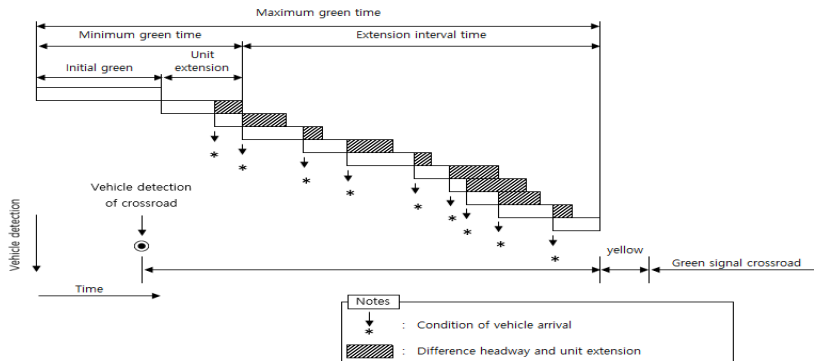
I. 서론

도로시설물은 원활한 차량소통을 위해 계획되어 있으며 도로운영에 있어서는 자동차가 통행의 우선권을 가지고 있고 이러한 차량중심의 도로운영상황하에서 보행자 및 자전거 등의 녹색교통을 위한 배려는 충분히 고려되어 있지 않다(Jang and Oh, 2015). 우리나라 교통사고 사망자 중 보행자 사망이 높은 비율을 차지하고 있어, 정책적으로 보행안전에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만 보행신호시간 계획의 경우 보행편의 및 신호주기를 고려하지 않고 횡단보도 길이를 기준으로 보행신호시간을 적용하다 보니, 신호기가 설치된 폭이 좁은 부도로 횡단보도의 경우, 횡단거리에 비해 상대적으로 보행대기시간이 길어 보행자의 무단횡단을 유발하고 있다(Chae et al., 2020). 교차로에서의 보행대기시간은 보행자 위반에 영향을 미치기 때문에 주기 및 현시를 설계할 때는 특별한 주의를 기울여야 하며 보행대기시간을 최소화하면 신호교차로에서 위험한 보행자 행동을 줄일 수 있을 것으로 기대된다(Brosseau et al., 2013). 한편 전국적으로 확대 설치되는 국도감응신호 구축사업은 보행자보다는 주도로 차량지체를 감소하고자 하는데 초점이 맞추어져 있다. 또한 대부분의 국도 구간은 연동제어를 적용하고 있어 보행감지가 되더라도 감지된 시점이 보행신호 이전 현시인 경우 해당 보행현시 때 신호를 받을 수 있지만 보행현시나 그 다음 현시에 감지되면 다음 주기 보행현시에 보행신호가 나오기 때문에 보행 신호를 받기 위한 보행대기시간은 더 늘어날 수 있어 이는 보행자의 불편 또는 스트레스 유발 요인이 될 수 있다. 기존의 국도감응신호의 타당성 및 효과에 대한 연구는 주로 차량의 통행속도 개선에 초점이 맞추어져 있었고 교통약자인 보행자의 편의, 안전 또는 보행자가 느끼는 불편 및 스트레스에 대한 연구는 활발하지 못했다. 따라서 보행자 중심의 교통패러다임 전환이 시대적인 요구임을 감안할 때 보행감응신호 구간 내에서 보행대기시간이 보행자만족도에 미치는 영향을 분석하여 보행자 편의가 반영된 보행친화적인 감응신호운영 방안을 제시함으로써 향후 좌회전감응신호 구간에서 보행자 우선 정책 반영에 토대를 제공하는게 본 연구의 목적이다.

II. 관련 이론 및 선행 연구 고찰

1. 감응신호와 보행자 작동신호

감응식 신호제어에는 완전감응식(Full Actuated Control)과 반감응식(Semi-Actuated Control)의 두 가지 방식이 있으며 완전 감응식 제어에서는 검지기가 모든 접근로에 있어 해당 방향의 신호시간이 연장 또는 생략될

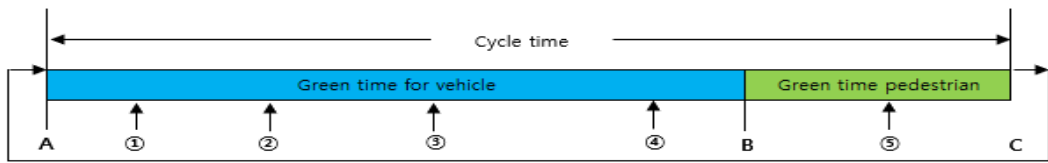


Source : Ryu et al.(2014)

<Fig. 1> Concept of actuated signal control

수 있고, 반감응식 제어에서는 검지기가 부도로에만 있어 정상 시에는 녹색신호가 주도로방향에 유지되다가 부도로 검지기를 통해 차량이 검지되면 녹색 신호가 부도로로 이전되는 방식이다.

감응식 신호운영의 변수는 <Fig. 1>과 같이 최소녹색시간(Minimum Green Time)과 진행연장시간(Extension Interval), 최대녹색시간(Maximum Green Time)의 변수로 활용되어 운영되며, 검지기의 차량 감응에 따라 녹색 시간이 연장 또는 종결된다(Ryu et al., 2014). 또한 반감응 제어기는 교통량의 변화가 크고 속도가 낮은 교통량이 운영되는 부도로와 일정한 흐름을 가지고 있는 주도로가 연결된 교차로에서 적용이 된다. 반감응제어는 주도로의 많은 진행을 제공할 수 있다. 따라서 정주기식과 완전감응식 제어기를 섞어 놓은 듯한 효과적인 운영을 할 수 있다(Lee and Kim, 2002). National Police Agency(2021)에 제시된 보행자 작동신호기 동작 개념은 단일로 횡단보도 신호와 교차로신호 등 2가지로 설명되어 있다. 첫째, 단일로 횡단보도 신호의 경우 동작개념은 다음과 같다. 보행신호 요청이 있을 경우 기 입력된 신호시간계획에 의해 보행등을 점등시키지만 보행신호 요청이 없는 경우는 차량등만 점등시킨다. <Fig. 2>에서 ①, ②, ③, ④, ⑤는 보행자가 보행요청 버튼을 누른 시점이며 B는 신호시간 계획에 의거 차량신호가 끝나는 시점이며 C는 보행신호가 끝나는 시점이다. ①번 보행자는 B-① 시간동안 기다리게 되며 ②번 보행자는 B-②시간, ③번보행자는 B-③시간, ④번 보행자는 B-④시간 동안 기다린 후 보행등이 등화된다. 또한 계획된 보행신호가 끝날 무렵 횡단보도에 도착한 ⑤번 보행자는 다음 보행신호를 기다려야 하며 대기시간은 (C-⑤)+B시간이 된다. 따라서 보행자가 횡단보도에 도착해서 대기하는 최대시간은 1주기이다.



here,

①②③④⑤ are points in time when pedestrian call to crosswalk

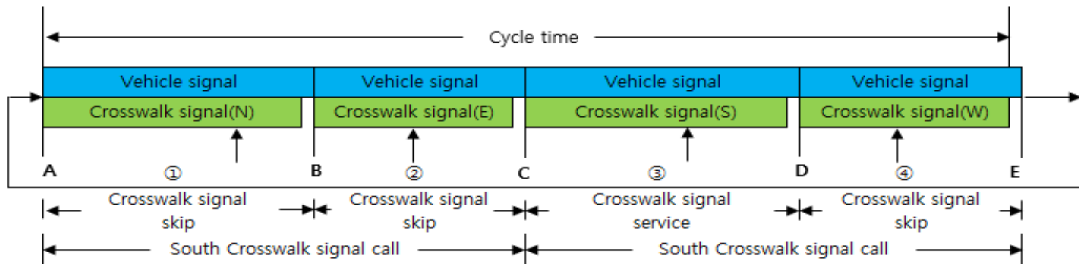
B : Point in time when closing the signal for vehicle according to a signal timing plan

C : Point time when closing the signal for pedestrian

Source : National Police Agency(2021), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.

<Fig. 2> Concept of pedestrian actuated control in mid-block signalized crosswalks

둘째, 교차로신호의 경우 보행자작동신호기의 동작개념은 다음과 같다. 교차로에서 보행자감응제어는 보행신호 요청이 있을 경우 해당 방향 횡단보도에 대하여 기 입력된 신호시간계획에 의해 보행등을 점등시키지만 보행신호 요청이 없는 경우는 차량등만 점등시킨다.



Source : National Police Agency(2021), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.

<Fig. 3> Concept of pedestrian actuated control in signalized intersection

<Fig. 3>에서 ①번과 ②번 차량신호현시 중 ③번의 남쪽 보행신호 요청이 있는 경우 현재 진행 중인 주기 순서 내에서 해당현시가 도래할 때에 보행등이 등화된다. ③번과 ④번 차량신호현시 중 ③번의 남쪽 보행신호 요청이 있는 경우 다음 신호주기 내에서 해당 현시가 도래할 때에 보행등이 등화된다. 주기 내에 횡단요청이 없는①,②,④번 횡단보도신호는 생략된다.

국도 좌회전감응제어시스템은 반감응제어, 좌회전 조기 종결(현시 생략 포함), 보행자감응 등으로 운영하고 있다. 차량검지기에 사용된 반감응제어와 좌회전 조기종결 제어는 부도로와 주도로 좌회전 차로에 루프 검지기를 설치하여 차량이 없는 경우에는 신호현시를 조기 종결하여, 주도로에 현시를 부여하고, 신호주기를 고정하여 교차로 간 연동효과를 유지할 수 있도록 되어 있다. 또한 보행자감응은 횡단보도에 보행자작동신호기를 설치하여 횡단보도를 횡단하려는 보행자가 보행자작동신호기를 누를 경우에만 보행자 신호를 주는 방식이다(Ko et al., 2017).

2. 관련 선행 연구 고찰

Jang and Oh(2015)는 보행자가 비신호 교차로 횡단 시 기다림 시간이 증가하면 정신적 스트레스를 받는다고 하였고, Chae et al.(2020)는 보행신호 시간 간격이 짧을수록 무단횡단은 통계적으로 감소한다고 하였다. Jang et al.(1998)은 도시부 보행자 교통신호기 설치기준 연구에서 일반적으로 횡단보도에서 보행자는 횡단 대기시간 30초부터는 인내심이 없게 되며, 40초 후에는 보도의 연석에서 차로로 내려온다는 외국의 연구결과를 제시하였고, 미국의 보행자 대기시간에 관한 보고서에서는 보행자가 기다릴 수 있는 최대한도의 시간을 60초로 가정하였다고 제시했다. Ryu et al.(2014)는 교통흐름을 고려하여 차량의 지체를 최소화 하는 동시에 횡단신호 시간을 증가시켜 교통약자가 안전하게 도로를 횡단할 수 있는 전략을 제안하였다. 교통약자 우선신호 운영전략을 개발하고 실제 현장에 적용 및 전산모의실험을 통해 보행자 지체시간은 일반신호 운영의 경우 보다 4.7sec/ped(6.2%) 감소하는 결과를 얻었다. Ko et al.(2017)는 국도감응신호 시범운영에 대한 효과를 분석하였는데 주방향 녹색시간은 기존 고정신호제어 대비 약 27.8% 정도 증가한 것으로 나타났다. Cho et al.(2007), Kim et al.(2009), Yoon et al.(2015), Kim et al.(2015) 등은 보행자 작동신호기 설치 기준 및 확대 설치에 대한 연구 결과를 제시하였으나 기존 감응신호 연구들은 정주기식 신호제어와 반감응식 신호제어에서 보행자가 없음에도 불구하고 보행자신호를 제공함에 따라 발생할 수 있는 차량지체의 문제점을 해결하여 효율적인 교차로 신호운영을 가능하게하기 위한 내용을 주로 다루었다. Brosseau et al.(2013)는 과도한 보행대기시간과 위반사이의 상관 관계를 연구하였고, 보행대기시간과 인지 서비스 수준과의 관계도 많은 연구가 이루어졌다.(Cheng and Tsai, 2014; Nie, 2000; Pruyin and Smidts, 1998).

Ⅲ. 자료 수집 및 분석

1. 자료 조사 계획

본 연구의 시간적 범위는 2020년 11월~12월이며, 이천시 서이천로에 좌회전감응신호 운영구간 중 보행자 작동신호기가 설치된 6개 교차로를 대상 지역으로 선정하였고 교차로 현황은 <Table 1>과 같다. 이 중에서 장암삼거리 및 물류단지교차로의 현시체계는 국도감응신호구축사업 시 변경되었는데 장암삼거리는 좌회전 감응신호운영을 위하여 기존 주도로 및 부도로의 비보호좌회전을 없애고 보호좌회전을 신설함에 따라 3현시에

서 4현시로 변경되었고 물류단지교차로의 경우는 주도로 및 부도로 좌회전감응신호 운영과 주도로 직진신호를 늘리기 위해 4현시에서 3현시로 현시체계가 변경되었다. 조사는 좌회전감응신호 적용 전인 2020년 11월 5일, 적용 후인 2020년 12월 16일에 오전첨두(07:00~09:00), 비첨두(12:00~14:00), 오후첨두(18:00~20:00)로 나누어 각각 수행하였다. 보행자작동신호기가 설치된 대상 횡단보도 구간에 영상수집장치를 설치하여 보행자가 횡단보도에 도착 후 보행신호가 등화하는 시간까지의 대기시간을 측정하였다.

<Table 1> Target area for analysis

NO.	Intersection name	Geometric design	Phase	Pedestrian time	cycle	Number of crosswork	Total crosswalk
1	Sunam Intersection	3 way	3 phase	24(3)	150	1	4 Right-turn crosswalk(2) Sub-street(1)
2	Gocheok Intersection	4 way	4 phase	22(3)	150	1	7 Right-turn crosswalk(4) Sub-street(2)
3	Ceramic Art High School Intersection	4 way	4 phase	22(3)	150	1	3 Right-turn crosswalk(1) Sub-street(1)
4	Jangam Intersection	4 way	4 phase	24(3)	150	1	2 Right-turn crosswalk(1)
5	Pyogyo Intersection	4 way	4 phase	34(3)	150	2	4 Sub-street(2)
6	Mullyudanji Intersection	3 way	3 phase	26(3)	150	2	3 Sub-street(1)

횡단보도 신호등 철주 상단부에 설치된 영상수집장치는 보행자가 횡단보도 도착 후 보행자작동신호기 버튼을 누르고 그 후에 보행신호가 등화되는 것이 모두 확인 가능하도록 설치 각도를 조절하여 설치되었고 동영상자료에 시간이 표출되기 때문에 횡단보도에 보행자가 도착한 시간과 보행자작동신호기를 누른 후 보행신호가 등화된 시간을 산출하여 데이터를 작성하였다. 설문조사방법은 조사대상자인 횡단 보행자와 일대일 면접 방식으로 진행하였다. 설문조사는 보행자작동신호기가 설치된 횡단보도에서 보행을 완료한 사람을 대상으로 하였고 설문 내용은 인적사항, 보행자작동신호기 운영의 편리성 여부, 좌회전감응신호 적용 후 횡단보도 대기시간의 정도 및 이로 인한 스트레스 여부, 좌회전감응신호운영에 있어 개선사항 등을 포함한다.

2. 좌회전감응신호 적용 전·후 횡단보행자수 및 보행대기시간 비교

횡단 보행자수는 <Table 2>와 같이 오전 첨두(07:00~09:00) 95%, 비첨두(12:00~14:00) 17%, 오후 첨두(18:00~20:00) 44%로 사전보다는 사후에 모두 증가하였다. 조사 지점 6개 교차로에 대한 보행자가 횡단보도를 건너기 위해 대기 시간은 <Table 3>과 같이 좌회전감응신호 적용 전·후 오전 첨두, 비첨두, 오후 첨두 시간대로 나누어 조사했다. 6개 교차로의 보행 총 평균대기시간은 오전 첨두가 32초가 늘어 11% 증가했고, 비첨두는 111초가 늘어 37% 증가하였으며, 오후 첨두는 142초가 늘어 47%가 증가했다.

분석결과 보행자의 경우 좌회전감응신호 적용 후 보행대기시간이 오전첨두 11%, 비첨두 37%, 오후첨두 47%가 증가함으로써 좌회전감응신호 적용 후에 보행자의 보행 대기시간은 대체적으로 증가한 것으로 분석되었다. 특히 비첨두 및 오후 첨두시의 보행대기시간은 오전 첨두보다 크게 늘었는데 이는 보행자가 횡단보도에 도착하는 시점의 차이에 영향을 받은 것으로 사료된다.

<Table 2> Number of Pedestrian crossing

No.	Intersection name	Number of Pedestrian crossing(person)								
		Peak time(am)			Off time			Peak time(pm)		
		Before	After	Variation rate	Before	After	Variation rate	Before	After	Variation rate
1	Sunam Intersection	4	4	0%	6	7	17%	1	7	600%
2	Gocheok Intersection	2	3	50%	2	2	0%	1	1	0%
3	Ceramic Art High School Intersection	4	9	125%	28	23	-18%	3	7	133%
4	Jangam Intersection	4	11	175%	2	9	350%	3	2	-33%
5	Pyogyo Intersection	4	6	50%	2	5	150%	9	7	-22%
6	Mullyudanji Intersection	1	4	300%	1	2	100%	1	2	100%
	total	19	37	95%	41	48	17%	18	26	44%

<Table 3> Pedestrian average waiting time

No.	Intersection name	Pedestrian average waiting time(sec)								
		Peak time(am)			Off time			Peak time(pm)		
		Before	After	Variation rate	Before	After	Variation rate	Before	After	Variation rate
1	Sunam Intersection	48	48	0%	57	82	44%	20	76	280%
2	Gocheok Intersection	65	82	26%	35	69	97%	43	63	47%
3	Ceramic Art High School Intersection	91	54	-41%	64	70	9%	83	53	-36%
4	Jangam Intersection	30	72	140%	30	56	87%	55	95	73%
5	Pyogyo Intersection	42	32	-24%	35	67	91%	45	71	58%
6	Mullyudanji Intersection	24	44	83%	78	66	-15%	57	87	53%
	total	300	332	11%	299	410	37%	303	445	47%

3. 설문조사 결과 분석

설문조사는 좌회전감응신호 적용 후인 12월 16일(수) 실시하였으며 횡단보도를 건넌 보행자 113명중 설문조사에 응한 66명을 대상으로 실시하였다. 조사된 자료의 성별 분포는 남성 42명(63.6%), 여성 24명(36.4%)으로 구성되었고 연령별 분포는 20대 이하 2명(3.03%), 20대 10명(15.15%), 30대 18명(27.27%), 40대 16명(24.24%), 50대 10명(15.15%), 60대 이상 10명(15.15%)로 나타났고 응답자의 직업은 노무직 24명(36.4%)으로 가장 많았고 사무직 13명(19.7%), 농업 12명(18.2%), 주부 5명(7.6%), 학생 4명(6.1%), 관리직 4명(6.1%), 상업 2명(3.0%), 기술직 1명(1.5%), 기타 1명(1.5%) 순으로 나타났다. <Table 4>는 보행자 만족도 설문조사 분석 결과이며 보행자작동신호기 운영방식이“불편하다”는 의견이 71.2%였고 그 이유는 보행대기시간이 길어졌다가 44.7%, “버튼을 누른 후 얼마 후에 보행신호가 켜지는지를 알 수가 없어 답답해 보인다”가 38.3%였다.

<Table 4> Analysis result of surveys

1. What do you think about pedestrian actuated signal?	① Inconvenient - 47 people(71.2%) ② convenient - 15 people(22.7%) ③ Don't know - 4 people(6.1%)
2. (For those who answered "inconvenient" in item 1) What is the reason that pedestrian actuated signal is inconvenient?	① Increasing the pedestrian waiting time - 21 people(53.8%) ② It seems frustrating because I don't know how long after the button is pressed the crosswalk signal turns on. - 18 people(46.2%) ③ It is inconvenient to have to press a button to cross (pressing a button is cumbersome)- 8 people(20.5%)
3. Do you think that pedestrian waiting time was longer than before pedestrian push-button was installed	① Yes - 41 people(62.1%) ② No - 10 people(15.2%) ③ Don't know - 15 people(22.7%)
4. (For those who answered "Yes" in item 3) Have you ever been stressed by it?	① Yes - 32 people(78.0%) ② No - 4 people(9.8%) ③ Don't know - 5 people(12.2%)
5. (For those who answered "Yes" in item 4) What do you think is the maximum amount of time you can wait without stress?	① within 30sec - 19 people(59.4%) ② within 60sec - 7 people(21.9%) ③ within 90sec - 6 people(18.8%)
6. Do you want to shorten the waiting time for a crosswalk even if there is a slight vehicle delay in the pedestrian actuated signal operation section?	① Yes - 42 people(63.6%) ② No - 9 people(13.6%) ③ Don't know - 15 people(22.7%)

이는 일반 보행자들은 보행자자동신호기 운영방식의 개념을 제대로 인지하지 못하기 때문에 버튼을 누르면 곧 보행신호가 나오는 것으로 인식하는 것으로 보인다. 보행자자동신호기 설치 전보다 횡단보도 대기시간이 길어졌다고 응답한 응답자가 62.1%로 나타났다. 그 중 78%는 늘어난 횡단보도 대기시간으로 인하여 스트레스를 받은 적이 있다고 하였다. 또한 스트레스를 받은 응답자 중 스트레스를 받지 않고 기다릴 수 있는 최대시간은 59.4%가 30초 이내, 21.9%가 60초 이내, 18.8%가 1분 30초 이내로 분석되었다. 또한 설문에 응한 보행자들의 63.6%는 차량지체가 다소 있더라도 횡단보도 대기시간이 짧아지기를 하는 것으로 조사되었다. 마지막으로 보행자자동신호기 운영에 대한 개선 및 제안사항으로는 버튼을 누르면 10초 이내에 보행신호가 나오기를 바라는 의견이 29.2%, 보행자버튼을 누르면 보행신호가 몇 초 후에 켜지는지 알려주는 장치가 있었으면 좋겠다고 39.6%, 보행자를 자동으로 인식하는 시스템이 설치되기를 바라는 의견이 16.7%, 버튼 고장 시에도 횡단보도 이용에 불편이 없게 운영이 되어야 한다고 14.5%로 나타났다. 아울러 <Table 4>의 설문 5번항(스트레스 유발 보행대기시간 및 스트레스 받은 응답자수)과 관련하여 응답자 32명의 응답 결과를 토대로 보행자가 스트레스를 받는 보행대기시간을 수식 (1)과 같이 가중평균값으로 산출한 결과 47.8초로 나타났다. (여기서 T_0 는 스트레스 유발 보행대기시간 가중평균값, T_i 는 스트레스 유발 i 보행대기시간, P_i 는 스트레스 받은 i 응답자수)

$$T_0 = \frac{T_1 \times P_1 + T_2 \times P_2 + T_3 \times P_3}{P_1 + P_2 + P_3} \dots\dots\dots (1)$$

IV. 시뮬레이션 분석

1. 시나리오 설정

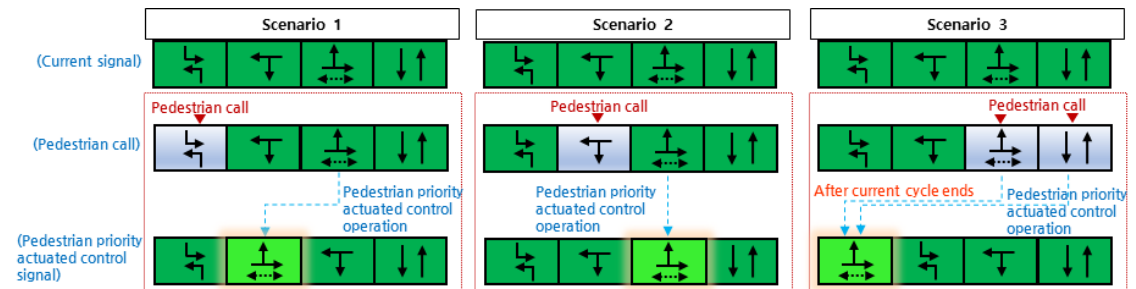
서이천로 감응신호 운영 구간에서 보행대기시간을 줄이기 위해 보행자 우선 감응신호 시뮬레이션 분석을 VISSIM을 사용하여 수행하였다. 시뮬레이션 분석을 통해 보행대기시간이 얼마나 개선될 수 있는지와 반대로 차량 지체도 및 통행속도에 어떠한 변화가 나타나는지 확인하기 위해 본 연구 대상 구간 중 도예고사거리 1 개소를 선정하였으며 보행대기시간과 차량 지체도 및 통행속도 등 3가지를 검증 지표로 채택하였다. 기존 도예고사거리의 비첨두시간(12:00~14:00)의 신호주기는 150초이며 4현시로 구성되어 있고 각 현시는 <Table 5>와 같으며 주도로 및 부도로에 좌회전감응 루프검지기가 설치되어 있으며 주도로 횡단보도에 보행자자동

<Table 5> Signal Plan at the Ceramic Arts High School Intersection

	Phase	1st phase	2 nd phase	3 rd phase	4 th phase
	Cycle 150s				
	Signal Time	17(3)	17(3)	22(3)	82(3)
	Pedestrian signal			22	
	Minimum green time	10	10	22	30

<Table 6> Concept of pedestrian priority actuated control

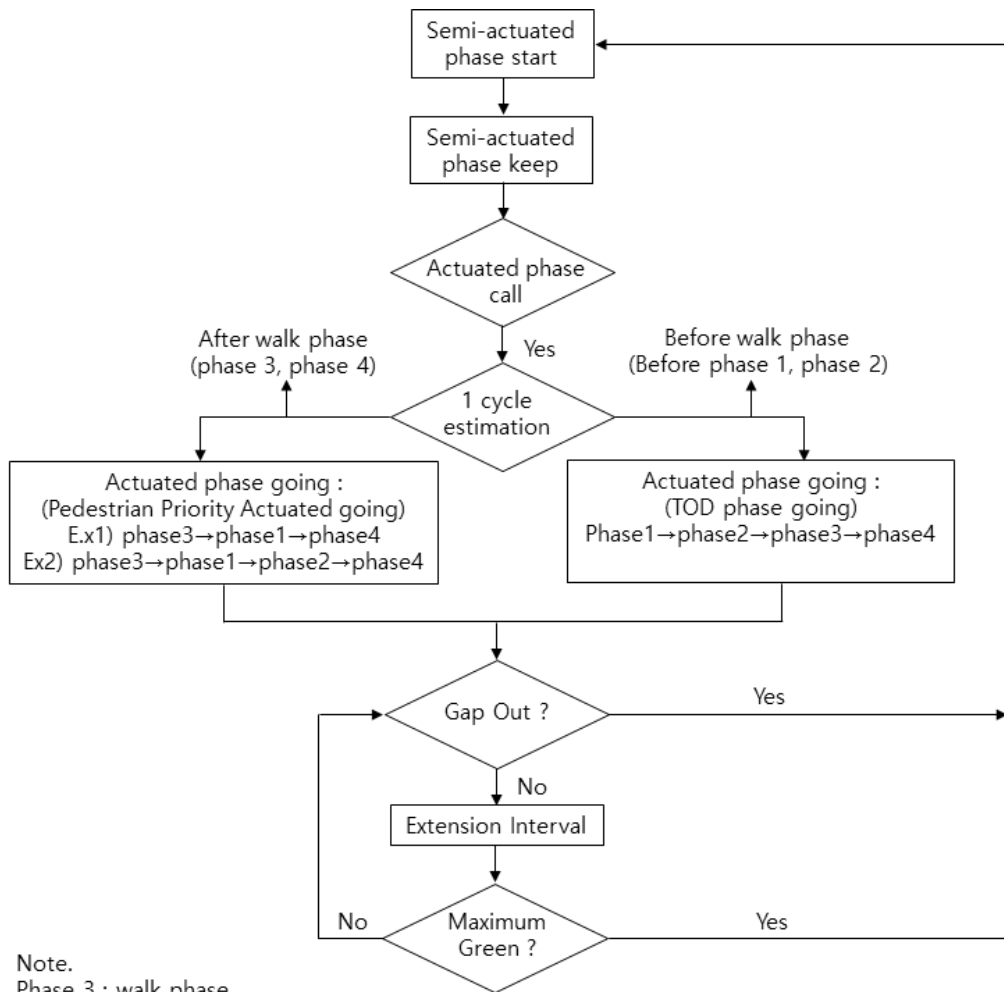
Case	detection condition	Phase operation sequence
Scenario 1	1st phase => Pedestrian detection	1st phase → 3 rd phase(crosswork signal) → 2 nd phase → 4 th phase
Scenario 2	2 nd phase => Pedestrian detection	1st phase → 2 nd phase → 3 rd phase(crosswork signal) → 4 th phase
Scenario 3	3 rd phase, 4 th phase => Pedestrian detection	After current cycle ends 3 rd phase(crosswork signal) → 1st phase → 2 nd phase → 4 th phase



<Fig. 4> Diagram of pedestrian priority actuated control scenarios

신호기가 설치되어 있다. 횡단거리는 21m이고 보행속도는 1.0m/s로 하였다. 시뮬레이션 구축 후 모델 리뷰와 디버깅, 정산을 수행하였다.

주기(150초) 및 현시별 녹색시간(TOD) 기준으로 녹색시간을 부여하며 주도로 직진 4현시를 제외한 나머지 현시는 검지되지 않으면 신호현시를 생략한다. 또한 신호시간 연장에 있어 검지기로부터 5초 이내로 차량이 검지될 경우 녹색시간을 5초 연장하는데 연장 최대 가능 시간은 TOD 내 제시된 최대녹색시간으로 정의되어 있다. 최소녹색시간 만족 후 차두간격에 따른 연장 가능 시간을 체크한다. 차두간격 5초 이상일 경우 주도로 4현시 신호로 전환되며, 차두간격 및 연장에 따른 잔여시간의 경우 4현시에서 차감하여 운영하는데 이는 신호주기 150초를 유지하기 위함이다. 아울러 3현시에 보행자 검지 시 서쪽 차량신호가 동시에 등화되지만 보행자가 없고 서쪽 교통량만 검지시 보행신호는 나오지 않고 3현시인 서쪽 차량신호만 나온다. 한편 사전 현장조사 교통량을 적용하여 시뮬레이션 분석을 수행한 보행자 우선 감응신호 개념은 <Table 6> 및 <Fig. 4>와 같고 이는 감응신호 알고리즘 수정을 통해 현재 신호제어시스템에 적용 가능하다. 또한 보행자 우선 감응신



<Fig. 5> Pedestrian Priority Actuated Control Algorithm

호 개념을 구현하기 위한 알고리즘은 <Fig. 5>와 같다.

2. 시뮬레이션 분석 결과

시뮬레이션 분석 결과 교차로 전체 차량 평균 지체시간은 <Table 7>과 같이 24.02초에서 22.07초로 1.95초 (8.1%) 감소하였다. 차량 통행속도는 구간은 고척사거리→도예고사거리→서이천IC교차로(도예고사거리 후방 교차로)간이며 상, 하행 평균 통행속도는 <Table 8>과 같이 42.35km/h에서 41.28km/h로 1.07km/h(2.5%) 감소된 결과가 나왔다. 또한 보행 평균대기시간은 <Table 9>와 같이 55.25초에서 39.75초로 15.51초가 감소하여 28% 개선되었다. 따라서 차량지체도는 미미하게 감소하였으나 보행 평균대기시간은 28%가 감소함으로써 보행자 우선 감응신호 운영이 보행 대기시간을 대폭 줄임으로 인하여 보행자 스트레스를 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

<Table 7> Simulation analysis result of Ceramic Arts High School Intersection

			Queue(m)		Time delay(sec)		LOS		Variationsvariation	
			Before	After	Before	After	Before	After	Queue	Time delay
Direction	N	Left turn	15.43	16.18	79.14	61.77	E	D	+0.76	-17.37
		Straight	15.63	16.39	13.54	15.66	A	B	+0.76	+2.11
		Right turn	16.28	16.54	-	-	A	A	+0.26	-
	E	Left turn	38.76	24.70	114.13	81.13	F	E	-14.07	-33.00
		Straight	38.70	24.64	115.78	80.81	F	E	-14.06	-34.98
		Right turn	0.04	0.04	63.59	21.35	D	B	-0.00	-42.24
	S	Left turn	17.35	17.67	98.64	69.44	E	D	+0.33	-29.20
		Straight	16.39	17.68	15.22	17.10	B	B	+1.29	+1.88
		Right turn	0.08	0.11	1.53	1.41	A	A	+0.03	-0.13
	W	Left turn	2.69	2.17	52.82	49.72	D	C	-0.51	-3.11
		Straight	2.68	2.17	89.53	56.59	E	D	-0.51	-32.95
		Right turn	0.16	0.12	13.55	9.36	A	A	-0.04	-4.19
Average			13.68	11.53	24.02	22.07	B	B	-2.15	-1.95

<Table 8> Analysis result of vehicle travel speed(Ceramic Arts High School Intersection)

		vehicle travel speed(km/h)		
		Before	After	Variation
Vehicle	Up	44.54	43.57	-0.98
	Down	39.01	37.80	-1.20
	Avr.	42.35	41.28	-1.07

<Table 9> Pedestrian average waiting time(Ceramic Arts High School Intersection)

	Before	After	Variation
Pedestrian average waiting time	55.26	39.75	-15.51

V. 결 론

본 연구에서는 좌회전감응신호 적용 전·후의 보행대기시간 및 횡단보도를 이용한 보행자에 대한 보행자 만족도를 조사·분석 결과 보행대기시간은 비침두시간에 37% 증가했다. 설문 결과 보행대기시간이 길어졌다가 62.1%, 그 중 78%는 그로 인하여 스트레스를 받는거로 나타났다. 한편 시뮬레이션 분석 결과, 차량 통행 속도는 1.07km/h(2.5%)로 소폭 감소한 반면 보행 평균대기시간은 15.51초(28%) 감소하여 크게 개선되었다. 따라서 보행자우선 감응신호는 보행 대기시간을 감소시켜 보행자 스트레스를 완화할 수 있을 것으로 기대되며 감응신호운영 구간에서 보행자 우선 정책의 일환으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 향후 좌회전감응신호 구축사업 시 보행친화적인 감응신호운영방안으로 활용될 수 있다. 본 연구의 한계점으로는 이천시 서이천로 구간이 보행자가 많지 않은 구간이었고 또한 조사시간이 오전 침두, 비침두, 오후 침두시만을 대상으로 하여 보다 많은 데이터 수집이 어려웠고 시뮬레이션 분석 구간이 도예고사거리 1개소만 수행하였기에 서이천로 감응신호구간 전체를 대표하기에는 한계점을 갖고 있다. 또한 보행대기시간과 보행자스트레스 상관관계 연구에 부족한 면이 있었다. 따라서 향후에는 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원과제임

REFERENCES

- Brosseau, M., Zangenehpour, S., Saunier, N. and Miranda-Moreno, L.(2013), “The Impact of Waiting Time and Other Factors on Dangerous Pedestrian Crossings and Violations at Signalized Intersections: A Case Study in Montreal”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 21, pp.159-172.
- Chae, H. C., Eom, D. L. and Yun, I. S.(2020), “Study on the Application of Pedestrian Twice Crossing”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 3, pp.14-27.
- Cheng, Y. H. and Tsai, Y. C.(2014), “Train delay and perceived-wait time: Passengers’ perspective”, *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, vol. 34, no. 6, pp.710-729.
- Cho, H. S., Park, J. H. and Noh, J. H.(2007), “Effectiveness analysis for traffic and pedestrian volumes of pedestrian pushbutton signal”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 9, no. 4, pp.33-43.
- Jang, D. M., Lee, B. C. and Kim, Y. J.(1998), “A study on pedestrian signal warrants at Urbanized area”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 16, no. 3, pp.59-72.
- Jang, T. Y. and Oh, D. H.(2015), “Analysis on pedestrian behavior focused on waiting time and trial frequency for crossing in the unsignalized intersection”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 35, no. 2, pp.427-436.
- Kim, E. C., Cho, H. S., Jung, D. W. and Kim, H. S.(2009), “An analysis on signal control efficiency

- in a three-leg intersection adopting pedestrian push-button system following pedestrian volume”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 11, no. 3, pp.121-128.
- Kim, J. H., Lee, H. W., Joo, D. H. and Jung, J. H.(2015), “A study on the Pedestrian Push-button Signals Introdacement Enlargement Plan”, *The 72th Conference of Korean Society of Transportation*, pp.93-97.
- Ko, K. Y., Kim, M. S., Ha, D. I. and Lee, C. K.(2017), “The evaluation analysis of improved signal actuation for a national highway”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 1, pp.1-13.
- Lee, I. K. and Kim, Y. C.(2002), “Development of the actuated coordination control strategy to improve the efficiency of a national highway”, *The 42th Conference of Korean Society of Transportation*, pp.1-6.
- National Police Agency(2021), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.
- Nie, W.(2000), “Waiting: Integrating social and psychological perspectives in operations management”, *Omega*, vol. 28, no. 6, pp.611-629.
- Pruyn, A. and Smidts, A.(1998), “Effects of waiting on the satisfaction with the service: Beyond objective time measures”, *International Journal Research Marketing*, vol. 15, no. 4, pp.321-334.
- Ryu, J. I., Kim, W. C. and Kim, H. C.(2014), “A Priority Signal Control Strategy for Vulnerable Considering Traffic Flow”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 4, pp.12-19.
- Yoon, S. S., Yang, J. H. and Kim, N. S.(2015), “Models for determining the vehicle and pedestrian volumes for the installation of pedestrian pushbuttons”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 33, no. 5, pp.488-496.