한국ITS학회논문지 J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.

보행자 중심의 회전교차로 설치방안에 관한 연구

A Study on the Installation of Pedestrian-oriented Roundabout

이 석 순* · 남 두 희**

* 주저자 : ㈜주영기술 대표/한성대학교 경제부동산학 박사과정
** 교신저자 : 한성대학교 사회과학부 교수

Seoksoon Lee* · Doohee Nam*

* Representative, Juyoung Technology Co., Ltd
** Professor, School of Social Sciences, Hansung University

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

Vol. 21 No.4(2022)
August, 2022
pp.30~38

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.4.30

Received 5 July 2022
Revised 29 July 2022
Accepted 8 August 2022

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

요 약

회전교차로는 지난 10년동안 대형 교통사고 예방과 안전하고 원활한 통행을 도모하기 위하여 2020년 기준 1,564개소가 설치되어 운영되고 있으며 한국교통연구원에 의하면 사고건수는 연평균 43.8% 감소하고 사망사고가 50%, 중상사고가 48.1% 감소한 것으로 나타나 안전성에 관한 효과가 검증되고 있다. 그러나 초등학교 부근 등의 어린이보호구역과 같은 보행량이 많은 교차로는 대부분 신호교차로를 운영하고 있으며 회전교차로가 설치된 경우 보행자들의 안전성 확보가 취약한 실정으로 이에 대한 개선이 필요하다. 이에 본 연구에서는 보행자 중심의 회전교차로 설치방안에 대해 연구를 수행하기 위하여 VISSIM 프로그램을 통해 시뮬레이션을 수행하였으며 분석된 주요 결과는 회전교차로 교통량이 적정할 경우 도시부나 어린이보호구역에 위치한 회전교차로 횡단보도에 신호등을 설치하여 운영할 수 있고 보행자들의 통행 우선권 확보가 가능하며 이로 인해 안전한 통행을 도모할 수 있는 것으로 연구되었다.

핵심어 : 회전교차로, 횡단보도, 회전교차로 신호, 어린이보호구역, 지체도

ABSTRACT

As of 2020, 1,564 roundabouts have been installed and operated to prevent major traffic accidents and promote safe and smooth passage over the past 10 years. According to the Korea Transportation Research Institute, the number of accidents decreased by an average of 43.8% per year, fatal accidents by 50%, and serious injuries by 48.1%, confirming the safety effect. However, most intersections with high pedestrian traffic, such as children's protection areas near elementary schools, operate signal intersections. Therefore, in this study, a simulation was performed through the VISSM program to conduct a study on the pedestrian-centered roundabout installation method. This study was conducted to ensure that pedestrians can have the right of way safely by installing and operating traffic lights at crosswalks on roundabouts located in urban areas or child protection zones.

Key words : Roundabout, Crosswalk, Roundabout Signal, Children protection zone, Delay

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

회전교차로는 원활한 교통소통과 저속 운행을 통한 대형 교통사고 예방과 안전한 통행을 위해 2010년부터 우리나라에 시범적으로 도입하기 시작하여 2020년 기준 1,564개소가 전국적으로 설치되어 운영하고 있으며 기존 평면교차로에 비해 교통소통과 안전에 많은 효과가 입증되고 있다. 한국교통연구원에 의하면 사고건수가 연평균 43.8% 감소하고 대형 사고 유형인 정면충돌사고가 76.5% 감소하는 것으로 나타나고 있어 앞으로도 더욱 확대 설치하여 운영되어질 것으로 예상된다. 일반적으로 통행속도가 70km/h보다 낮은 도로에 설치하는 것으로 회전교차로 설계지침에 제시되어 있으나 현재 국도와 특별·광역시도, 지방도에도 설치하여 운영함으로 안전한 통행을 도모하고 있다. 그러나 도시부 시가지내의 보행자가 많거나 또는 초등학교 주변의 어린이보호구역과 인접하여 설치되어 있는 회전교차로의 경우 보행자들의 안전한 통행권 보장이 어려운 실정으로 이에 대한 개선요구 민원이 지속적으로 제기되고 있다. 이에 본 연구에서는 보행자 중심의 회전교차로 설치와 운영에 대한 방법론을 제시하고 VISSIM을 사용하여 시뮬레이션을 수행함으로 기존 연구자료와 비교하여 보행자의 안전을 확보할 수 있는 회전교차로 운영방법에 대한 최적의 대안을 도출하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 도시부 시가지내에 위치하고 어린이보호구역과 인접한 1차로형 다지 회전교차로의 운영사례를 중심으로 연구하기 위하여 이천시 서희동상 오거리 회전교차로를 연구대상으로 선정하였다. 보행 통행이 많은 시간대인 어린이보호구역의 아침 등교시간 차량과 보행 통행량을 감안하여 보행신호 설치 유무에 대해 비교 분석을 시행하여 보행자들의 안전을 최대한 확보할 수 있는 방안을 도출하고자 한다.

연구수행 방법은 다음과 같다. 첫째, 어린이 보호구역 인근에 위치한 회전교차로 운영에 관한 선행연구에 대해 이론적 고찰을 수행하고 시사점과 연구방향을 도출한다. 둘째, 회전교차로 부근의 차량과 보행자의 통행특성 및 사고자료를 분석한다. 셋째, 보행자의 안전을 확보할 수 있는 방안으로 회전교차로의 보행 우선권 부여를 위한 보행신호 운영 방안, 횡단보도 위치 조정과 신호현시 유형, 신호주기별 운영 방안을 시뮬레이션을 통해 검토한다.

Ⅱ. 선행연구 고찰

1. 기존 문헌 고찰

Kim et al.(2011)은 도시부에 설치되는 회전교차로 운영 효율에 영향을 미치는 요소중 하나인 보행량에 대한 영향 분석은 미비함을 지적하고 1차로 회전교차로를 대상으로 보행량에 따른 회전교차로의 효율분석 및 보행신호를 제시하였다. 분석결과 보행수요가 200명/시 이하일 경우 회전교차로가 적합하며 보행량이 200명/시 이상인 경우는 보행자를 감지하여 보행신호를 부여하는 펠리칸 신호가 있는 원형교차로, 보행량이 600명/시 보다 높으면서 교통량이 1,500명대/시 이상인 경우는 정주기식 신호가 있는 신호교차로 적합한 것으로 나타났다. Kim and Park(2012)은 보행신호 운영에 따른 회전교차로 효과를 분석하였다. 보행교통량이 매우 많은 경우 보행신호 운영이 필요하고 지체가 감소하는 것으로 분석되었다. Moon et al.(2013)은 첨두시 이외의

시간에는 회전교차로가 효율적으로 운영되지만 특정 시간이나 첨두시의 교통량 및 보행자 수를 가정하여 보행자수에 따른 회전교차로 접근로별 용량 변화와 보행자 수가 증가함에 따른 회전교차로에서의 보행신호 적용 타당성 및 그에 따른 신호운영 방안을 제시하였다. Kim et al.(2015)은 어린이 보호구역 등에 설치된 신호횡단보도의 영향을 분석하고 회전교차로와 인접한 신호횡단보도 설치를 위한 최고 기준거리를 제시하였다. 진입교통량 200～500대/시 이하, 좌회전 비율이 20～40%, 보행신호시간이 15초 이상인 경우 평균적으로 50m의 최소 이격거리가 필요한 것으로 산정하였다. Jeong et al.(2017)은 회전교차로 본래의 기능을 유지하면서 교통약자의 안전한 보행환경을 보장하기 위하여 회전교차로의 접근로별 진출교통량을 고려한 차도 중앙에 안전지대를 설치하고 2주기로 나누어 보행자를 횡단시키는 2단 횡단보도의 적정 이격거리 산정 및 보행신호 운영방안을 제시하였다. 2차로형 4지 회전교차로를 기준으로 총 진입교통량이 1,000～3,000대/시인 경우 2단 횡단보도의 적정 이격거리는 12～30m 그리고 보행을 위한 신호주기는 80～110초로 분석되었다. Lee et al.(2017)은 2차로형 4지 회전교차로를 대상으로 차량의 소통과 보행자의 안전을 동시에 고려한 회전교차로 감응식 신호미터링 알고리즘을 개발하였으며 회전교차로에 고정식 보행신호를 설치하여 운영할 경우 차량당 평균지체는 전체적으로 증가하고 보행자 Push Button과 차량 신호미터링을 접목하여 신호 미터링을 운영할 경우 차량당 평균지체는 감소하는 것으로 분석되었다. Son and Park(2017)은 학교와 인접한 회전 및 신호교차로를 대상으로 사고에 영향을 미치는 요인을 비교·분석하고 회전교차로의 안전성 증진을 위하여 보행자 횡단거리를 줄여야 하며 이를 위해 진입차로수 최소화 및 분리교통섬의 설치 등이 필요하다고 주장하였다. Lee et al.(2017)은 회전교차로 설치 이후 비정상적인 교통수요 발생 및 보행량 증가에 대한 문제점을 해결하기 위한 실시간 신호미터링 운영시 양보선과 검지기간 사각지대에 존재하는 잔여차량 및 보행신호 동안 대기행렬이 길어져 교차로를 빠져나가지 못하게 되는 차량으로 인한 지체를 최소화가기 위해 대기행렬 소거시간을 총 진입교통량별로 적용한 효과를 확인하였다.

2. 회전교차로 설치 효과 및 사고현황

한국교통연구원에 의하면 2020년 기준 회전교차로는 전국적으로 국도를 포함한 시·군·구도까지 총 1,564개소 설치되어 운영중에 있다. 교통사고 건수는 817건에서 615건으로 24.7%가 감소하였고, 사망자는 76%(17명→4명), 중상자는 40%(431명→257명)가 줄어들어 중대 사고가 크게 감소한 것으로 나타났다.

<Table 1> Analysis of installation effect of roundabout

Intersection type	Number of approaches	Average travel time (sec/set)			Average travel speed (km/h)		
		Dictionary	Posthumously	Increase/decrease rate (%)	Dictionary	Posthumously	Increase/decrease rate (%)
Signal intersection	3	20.8	17.0	-18.5	25.3	31.2	23.1
	4	41.2	26.5	-35.7	23.3	28.9	23.8
	5	45.9	28.0	-39.1	23.9	32.8	37.3
	3+4(Double Spherical)	44.3	28.4	-35.9	25.4	30.0	18.1
	Average	38.1	25.0	-34.4	24.5	30.7	25.4
Non-signaled intersection	3	23.0	20.4	-11.3	26.5	29.3	10.1
	4	22.8	21.3	-6.7	27.5	29.8	8.4
	Average	22.9	20.8	-9.0	27.0	29.5	9.4
Rotary	5	40.3	31.5	-21.8	19.7	26.5	34.5
Average		34.0	24.7	-27.4	24.5	29.8	21.4

Source: Korea Transportation Research Institute “Roundabout Policy Research Support Project” (http://www.roundabout.or.kr)

<Table 2> Analysis of Traffic Accidents at Roundabout

Division	Total			Dead			Serious Injuries			Slight injuries		
	Before	After	Increase (%)	Before	After	Increase (%)	Before	After	Increase (%)	Before	After	Increase (%)
# of Accidents	817	615	-24.7	15.3	4	-73.9	334.3	218	-34.8	467.3	393	-15.9
Casualties (person)	1375.7	921	-33.1	16.7	4	-76	431	257	-40.4	928	660	-28.9

Source: Korea Transportation Research Institute “Roundabout Policy Research Support Project” (http://www.roundabout.or.kr)

Ⅲ. 보행자 중심의 회전교차로 운영 분석

1. 대상지 분석

본 연구에서는 보행자 중심의 회전교차로 설치와 운영을 위한 사례로 경기도 이천시 중리동 서희동상 오거리 회전교차로의 공사완료후 10년간 교통사고 현황을 살펴보면 매년 보행자를 포함한 교통사고가 꾸준히 발생되고 있는 실정이다. 회전교차로 특성상 저속주행으로 인해 사고내용이 대부분 경상 사고로 나타났으나 중상 사고가 3건 발생하였으며 2건이 보행자 사고로 회전교차로에서 보행자에 대한 사고 피해가 큰 것으로 나타나 보행 통행 안전성 확보를 위한 개선이 필요한 것으로 파악되었다.

<Table 3> Traffic accident status from 2012 to 2020

Division	Accident date and time	Accident details	Accident type	Target of damage
1	‘12.02.04. 18:00	serious injury	Car by person - crosswark	Pedestrian
2	‘13.02.28. 19:00	minor injury	Car by car-side right angle collision	Car
3	‘13.07.18. 03:00	minor injury	Vehicle only workpiece collision	
4	‘14.06.05. 16:00	minor injury	Car by person - crosswark	Pedestrian
5	‘15.01.05. 08:00	minor injury	Car by car - rear end collision	Car
6	‘15.05.18. 20:00	serious injury	Car by person - crossing the road	Pedestrian
7	‘15.12.10. 00:00	minor injury	Car by car - a head on collision	Car
8	‘16.09.22. 15:00	minor injury	Car by person - other	Pedestrian
9	‘17.02.23. 20:00	minor injury	Car by car - a head on collision	Motorcycle
10	‘17.04.06. 01:00	minor injury	Car by car - a side collision	Car
11	‘17.08.15. 19:00	minor injury	Car by car - other	Bicycle
12	‘18.01.10. 00:00	minor injury	Car by car - a side collision	Car
13	‘18.05.30. 09:00	minor injury	Car by car - a side collision	Car
14	‘19.01.20. 18:00	minor injury	Car by car - a side collision	Car
15	‘19.05.14. 16:00	serious injury	Car by car - other	Bicycle
16	‘19.08.03. 15:00	minor injury	Car by car - a head on collision	Car
17	‘19.08.11. 08:00	minor injury	Car by car - a side collision	Car
18	‘20.05.05. 17:00	minor injury	Car by car - other	Bicycle
19	‘20.05.25. 12:00	minor injury	Car by person - on the road	Pedestrian

Source: TASS Traffic Accident Analysis System (www.tass.koroad.or.kr)
Note: Shaded marks indicate pedestrian traffic accidents.

2. 분석시나리오 설정

기존 회전교차로는 보행자보다는 차량 위주의 통행을 우선시하고 있어 회전교차로상에 신호등 설치를 지향하고 있으며 차량 감속시설과 기하구조 개선을 통해 차량의 저속운행을 유도하고 양보를 전제로 하고 있어 신호교차로에 비해 안전한 통행을 도모하고 있다. 또한 보행자에 대해 횡단길이 최소화와 고원식횡단보도, 2중 횡단보도 등을 설치하여 보행자의 안전을 유도하고 있으나 보행자의 통행 우선권이 확보되지 않고 보행자들이 횡단보도를 통해 차량과 차량의 간격을 살피며 통행하고 있어 사고위험에 많이 노출되어 있는 실정으로 보행자 사고 발생시 중상사고로 연결되는 경우가 종종 발생되고 있다. 이에 보행자들의 안전한 통행을 위하여 차량으로부터 보행자의 통행 우선권을 확보할 수 있도록 횡단보도에 신호등을 설치하는 방안을 적용하였다. 이천시 중리동에 소재한 남천초등학교 어린이 보호구역 인근의 서희동상 오거리 회전교차로를 대상으로 현재 운영되고 있는 교차로 기하구조와 교통량과 보행량을 활용하여 분석하였다. 무신호운영과 보행자 신호등 설치에 따라 신호운영(2현시, 5현시, All-red)에 대해 비교 분석을 수행하고 또한 신호주기 변화와 교통량 증가에 따른 분석과 횡단보도 위치변경에 따른 원형차로의 영향에 대한 분석을 수행하여 각 대안별 비교 분석을 수행하였다.

<Table 4> Criteria for Analysis of VISSIM at Seohui Dongsang Five-way Roundabout

Intersection type	A five-way roundabout lane
Inscribed circle diameter	30m
Traffic volume (v/h)	1,100(60% of capacity) / 1,280(70% of capacity) / 1,500(80% of capacity) / 1,750(90% of capacity)
Traffic volume ratio by approach (%)	27 : 17 : 16 : 26 : 15
Main rotation ratio (%)	Left : 22, Straight : 58, Right : 19
Travel speed (km/h)	Entry part: 30, Rotating part: 15
Crosswalk length (m)	8
Pedestrian crossing time (sec)	17
Pedestrian traffic (p/h)	600
Signal period (sec)	60, 80, 100, 120
Crosswalk position (m)	10, 20, 30

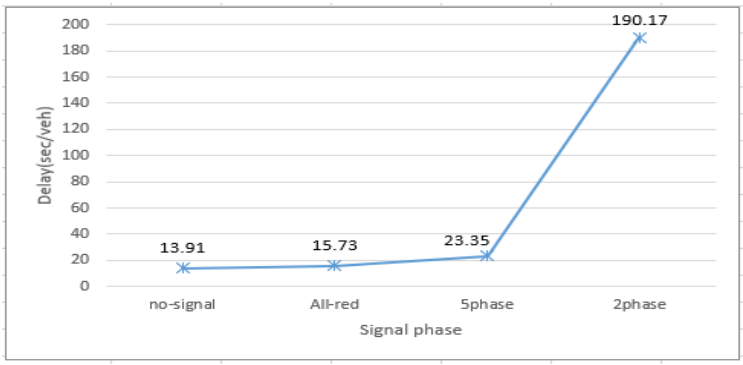
<Fig. 1> Location of pedestrian traffic lights on crosswalks at Seohui Dongsang Five-way Roundabout

보행자 횡단신호 운영방안으로 신호현시를 2현시, 5현시, All-red로 구분하였으며 2현시는 남북축(③-④,⑨-⑩)과 동서축(①-②, ⑤-⑥, ⑦-⑧)으로 구분하여 보행신호를 순서대로 부여할 수 있도록 하였고 5현시는 남측 접근로에서부터 시계방향으로 순차적으로 보행신호를 부여하는 것으로 설정하였으며 All-red는 전방향 보행신호를 동일시간에 운영하고 보행신호가 종료되면 차량이 통행할 수 있도록 하였다. 신호주기를 60초, 80초, 100초, 120초로 변화시켜 분석하였고 분석교통량은 현황 교통량을 기준으로 증가시켜 분석하였으며 현황 교통량은 1,163대/시로 최대 용량(1차로형 회전교차로 1일 교통량 20,000대) 대비 60% 수준이며 현황 교통량의 10%(용량 대비 70%), 30%(용량 대비 80%), 50%(용량대비 90%)로 각각 증가시켜 분석하였다. 또한 횡단보도와 회전교차로내 원형차로와의 영향을 분석하기 위하여 횡단보도 위치를 현황(원형차로와 횡단보도 간격

10m), 20m, 30m로 변화시켜 횡단보도 신호운영으로 인한 회전교차로에 영향을 최소화하기 위한 방법으로 분석을 시행하였다.

3. 시뮬레이션 분석결과

무신호 횡단보도와 신호현시 운영에 대해 현시 운영방법을 변화시켜 분석을 시행한 결과 무신호 운영시 지체도가 13.91초/대로 신호운영 방안보다 지체도가 낮게 나타났다. 신호운영 방안은 All-red방안이 15.73초/대로 가장 낮게 나타난 반면 2현시 방안은 190.17초/대로 가장 높은 지체도를 나타냈다. 2현시 운영방안은 1차로형 회전교차로에서 남북축과 동서축으로 부여된 횡단보도신호로 인해 횡단보도 대기차량이 원형차로를 막는 현상이 발생하여 지체도가 높게 나타난 것으로 분석되었다.



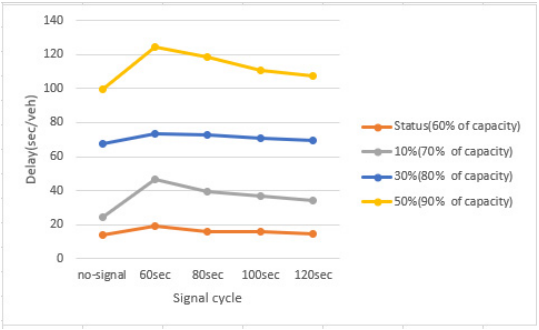
<Fig. 2> Delay according to signal presentation operation

교통량 증가시 횡단보도 신호운영을 지체도가 가장 낮은 All-red로 운영하면서 신호 주기별 지체도를 비교·분석한 결과 교통량이 증가할수록 지체도는 증가하는 것으로 나타났으며 신호운영시 60초 주기가 지체도가 가장 높고 주기시간이 길어질수록 지체도는 낮아지는 것으로 나타났다. 현황의 경우 교통량이 작아 무신호 대비 60초 주기의 경우 지체도 차이가 5.53(초/대) 비교적 적게 나타난 반면 교통량이 증가할수록 지체도 차이는 커지는 것으로 나타났다.

<Table 5> Delay by signal cycle when traffic volume increase

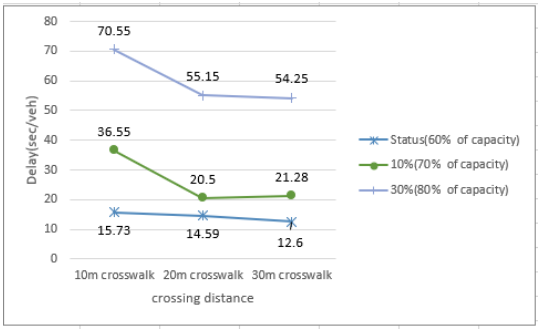
<:sec/veh>

Traffic increase / Cycle	Actual	10%	30%	50%
No signal	13.91	24.14	67.84	99.72
60sec	19.44	46.84	73.41	124.11
80sec	16.08	39.36	72.78	118.63
100sec	15.73	36.55	70.55	110.96
120sec	14.52	34.13	69.33	107.5

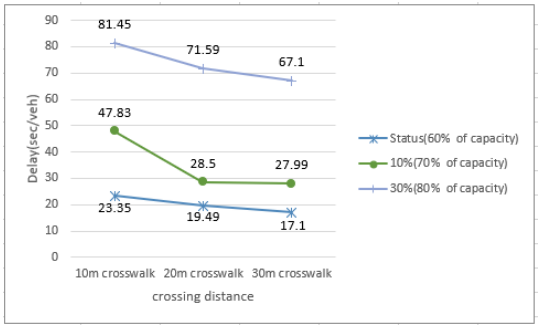


<Fig. 3> Delay by signal cycle when traffic volume increases

All-red현시의 교통량 증가시 횡단보도 위치별 지체도 분석은 신호주기를 100초로 설정하여 분석한 결과 횡단보도가 회전교차로 원형차로에서 멀어질수록 지체도는 낮아지나 횡단보도 위치가 20m 이격될 경우 지체도 변화가 작아 적정위치인 것으로 판단되며 교통량 증가에 따른 것은 교통량 10% 증가까지는 서비스수준 C수준을 유지하는 것으로 나타났다. 5현시의 교통량 증가시 횡단보도 위치별 지체도 분석을 신호주기 100초로 설정하여 분석한 결과 지체도는 현황 교통량의 경우 All-red보다 7.62(초/대) 높게 나타났으며 지체도 그래프 형태는 All-red 형태를 나타내는 것으로 분석되었다.



<Fig. 4> Delay chart by location of crosswalks when traffic volume increases in All-red phase



<Fig. 5> Delay chart by location of crosswalks when traffic volume increases in 5 phase

이러한 결과를 바탕으로 회전교차로에 횡단보도 신호를 부여하는 것은 교통량이 용량대비 60% 수준일 경우까지는 서비스수준 C수준을 유지하는 것으로 나타나 지체도가 무신호 대비 큰 차이를 나타내지 않았으나 용량대비 70% 수준부터는 지체도 수치가 높아지기 시작하고 있어 분석 대상 교차로의 현재 교통량의 경우 횡단보도에 신호 운영을 하여도 지체도는 높지 않은 것으로 분석되었으며 용량대비 70% 수준 교통량의 경우도 횡단보도 위치와 신호주기를 적정하게 적용할 경우 서비스수준이 C수준을 유지하는 것으로 분석되었다. 또한 신호현시는 5거리 회전교차로의 다지 회전교차로 형태를 감안하여 All-red로 현시운영하는 것이 5현시 운영보다 지체도가 낮게 나타났다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 보행자 중심의 회전교차로 설치와 운영을 위해 보행자들의 안전을 최대한 확보하면서 회전교차로의 기능을 유지할 수 있는 방안을 제시하는 데 목적을 두고 있다. 연구를 위해 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM을 이용하였으며 차량으로부터의 보행자 안전을 확보하기 위해 보행신호운영에 따른 회전교차로 운영효과를 비교 분석하였다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

무신호 횡단보도와 신호현시 운영에 대해 현시 운영방법을 변화시켜 분석한 결과 무신호 운영시 지체도가 신호운영 방안보다 낮게 나타나 차량 소통 측면에서는 무신호 운영이 적합한 것으로 나타났으나 보행자의 안전은 취약하다. 보행자의 안전을 위해 통행우선권 확보할 수 있는 신호운영 방안은 All-red방안이 가장 낮은 지체도를 나타냈다. 교통량 증가시 횡단보도 신호운영을 All-red로 운영하면서 신호 주기별 지체도를 분석한 결과 60초 주기의 지체도가 가장 높고 주기시간이 길어질수록 지체도는 낮아지는 것으로 나타났다.

All-red현시의 교통량 증가시 횡단보도 위치별 지체도 분석 결과 횡단보도가 회전교차로 원형차로에서 멀어질수록 지체도는 낮아지나 횡단보도 위치가 20m 이격될 경우 지체도 변화가 적어 원형차로에서 20m 이격되어 있는 지점이 적정위치인 것으로 분석되었다. 신호현시는 5거리 회전교차로의 다지 회전교차로 형태를 감안하여 All-red로 현시운영하는 것이 5현시 운영보다 지체도가 낮게 나타났다. 이러한 분석결과를 바탕으로 1차로형 5지 회전교차로의 횡단보도에 신호등을 설치할 경우 한계 교통량의 70%까지는 All-red 현시운영방법으로 신호주기를 100초 이상 운영할 경우 서비스수준이 C 수준을 유지하는 것으로 나타났으며 원형차로에 영향을 최소화할 수 있는 횡단보도 위치는 원형차로에서 20m 이격되어 있는 지점인 것으로 분석되어 이상의 조건이 충족되는 도시부나 어린이보호구역 부근의 회전교차로 횡단보도에 신호등을 설치할 수 있으며 이로 인해 보행자의 통행우선권을 확보할 수 있는 것으로 연구가 이루어졌다.

본 연구는 어린이보호구역상에 위치한 다지 회전교차로 형태의 1차로형 5지 회전교차로를 대상으로 아침 등교시간에 대한 연구를 수행하였으며 연구 결과가 회전교차로 횡단보도 신호운영은 All-red 현시운영방법이 지체도가 가장 낮은 것으로 분석되었으며 보행자 감응에 의한 횡단보도 신호운영은 5현시 신호운영체계 기반으로 횡단보도 신호운영을 하여야 할 것으로 보행량이 많은 등교시간의 1차로형 5지 회전교차로의 경우 감응신호시스템구축에 의한 효과가 미미할 것으로 판단되어 감응신호 분석을 수행하지 않았다.

향후 연구 과제로 회전교차로에서 각 방향별로 이용하는 보행자들의 안전성을 확보하기 위하여 보행경로를 기반으로 한 통행행태를 고려하여 보행자 지체분석과 안전한 보행신호 운영방안에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 논문은 한성대학교 교내학술연구비 지원과제임

REFERENCES

Jeong, S. D., Lee, S., Ahn, W. Y. and Choi, H. W.(2017), “A study on staggered crosswalk distance estimation and pedestrian signal operation at roundabouts for vulnerable Users”, *Korea Transport Institute Journal of Transport Research*, vol. 24, no. 2, pp.53-65.

Kim, K. H. and Park, B. H.(2012), “Effectiveness analysis of roundabout based on the operation of pedestrian signal”, *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 4, pp.1-9.

Kim, S. Y., Choi, J. S., Lee, S. I., Kim, M. K., Kim, Y. I. and Jeon, B. K.(2011), “A study of roundabout operation according to the pedestrian volume”, *Korea Society of Road Engineers*, vol. 13, no. 4, pp.143-150.

Kim, Y. B., Lee, D. M., Jeon, J. W. and Cho, H. S.(2015), “An estimation of the minimum distance between a roundabout and signal crosswalk using VISSIM”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 33, no. 4, pp.337-347.

Korea Transport Institute, *Roundabout Policy Research Support Project*, http://www.roundabout.or.kr, 2022.04.24.

Lee, S., Ahn, W. Y. and Lee, S. H.(2017), “A dynamic signal metering algorithm development for vehicles and pedestrians at roundabouts”, *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*,

vol. 16, no. 6, pp.53-66.

Moon, J. B., Lee, I. G. and Kim, Y. C.(2013), “An effectiveness analysis of pedestrian crosswalk signal on roundabout”, *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 2, pp.63-75.

Son, S. K. and Park, B. H.(2017), “Safety analysis of roundabout near schools”, *Korea Planner' Association*, vol. 52, no. 230, pp.69-78.