

VISSIM분석을 통한 회전교차로 인접 신호횡단보도의 최소이격거리 산정

김영범¹ · 이동민^{1*} · 전진우¹ · 조한선²

¹서울시립대학교 교통공학과, ²한국교통연구원 도로교통본부

An Estimation of the Minimum Distance Between a Roundabout and Signal Crosswalk Using VISSIM

KIM, Young Beom¹ · LEE, Dongmin^{1*} · Jun, Jin Woo¹ · Cho, Hanseon²

¹Dept. of Transportation Eng., University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

²Dept. of Highway Transport, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

Abstract

Since the application of roundabouts by 2010 have been started, more than 350 roundabouts were installed in Korea. Recently the types of constructed roundabouts become various, and the intersection conditions for installing roundabouts were also various. However, there were some difficulties to install roundabouts around school zone due to safety problems. In this study, appropriate distance from adjacent signal crosswalks to roundabouts were estimated for securing pedestrian safety and operation efficiency around school zone. With the analyses, the minimum distance standard was suggested to obtain operational effectiveness of roundabout according to traffic volume, traffic flow, pedestrian green time and secures pedestrian safety and convenience. In this paper, average delay of roundabout as various length of distances between an adjacent crosswalk and a roundabout as different pedestrian signal times, traffic volumes, traffic flow rates were analyzed. Through this study, it was found that about four times of delay in a roundabout was generated if there was adjacent signal crosswalk. However if there is enough distance between an adjacent crosswalk and a roundabout, the value of increasing delay on roundabouts with adjacent a signalized crosswalk can be considerably reduced. Critical value of the distance between a roundabout and a signal crosswalk in case of roundabouts within 200-500 vehicle/hour/lane entry traffic flow, 20-40% of left turn traffic, and over 15 seconds pedestrian green time was about 50 meters. In conclusion, if there is minimum 40 meter distance from roundabouts, adjacent signal crosswalks can be installed and operated for students' safety around school zone.

교통문화 선진화 사업의 일환으로 2010년 회전교차로건설을 시작한 이후 현재까지 약 350개 이상의 회전교차로 건설되어 운영되고 있다. 최근에는 회전교차로 설치에 따른 효과가 검증됨에 따라 도시부 도로 뿐만 아니라 일반국도 등의 지역 간선도로로 확대되어 설치되고 있다. 본 연구에서는 회전교차로 설치를 추진되고 있는 교차로 조건이 점점 다양해짐에 따라 다양한 조건들을 검토를 하기 위해 수행되었는데, 특히 어린이보호구역 등에 설치된 신호횡단보도의 영향을 분석하고, 회전교차로와 인접한 신호횡단보도 설치를 위한 최소 거리기준을 제시하고자 한다. 안전한 도로환경을 위한 어린이보호구역 같은 지역에서 회전교차로를 설치할 경우, 인접 신호횡단보도의 설치를 통해 보행자의 안전성을 확보하면서 회전교차로의 운영효율을 확보할 수 있는 적정 이격거리를 산정해야 한다. 교통시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 어린이보호구역 내 회전교차로 설치 시 인접한 신호횡단보도의 이격거리에 따른 평균지체를 산출하였다. 이를 통해, 회전교차로 인접 신호횡단보도 설치 시 교통량, 방향별 교통량비율, 보행녹색시간 별 회전교차로의 운영 효과를 유지할 수 있는 최소 이격거리 기준을 제시하였다. 각 조건별로 일정 이격거리 이후부터는 어린이보호구역 같은 지역에서 신호횡단보도를 설치하여도 기준에 회전교차로의 효과를 유지할 수 있는 것으로 분석되었다. 결과적으로 진입교통량이 200-500대/시 이하, 좌회전 비율이 20-40%, 보행신호시간이 15초 이상인 경우 평균적으로 50m의 최소이격거리가 필요한 것으로 산정되었다. 본 연구에서의 회전교차로 인접 신호횡단보도 이격거리 산정결과는 어린이보호구역과 인접한 도로에서 최소 40m이상의 이격거리를 고려한다면 회전교차로의 설치 기능을 확인하였다.

Keywords

delay, minimum distance, roundabout, school zone, signalized crosswalk, VISSIM
평균지체, 최소이격거리, 회전교차로, 어린이보호구역, 신호횡단보도, VISSIM

* : Corresponding Author
dmlee@uos.ac.kr, Phone: +82-2-6490-2827, Fax: +82-2-6490-2819

Received 22 January 2015, Accepted 18 August 2015

서론

1. 연구의 배경 및 목적

1966년 영국에서 개발된 회전교차로는 교차로 내부 중앙에 원형의 교통섬을 두고 중앙교통섬을 중심으로 회전하면서 교차로를 통과하도록 하는 교차로 형태로 운영된다. 국내 회전교차로는 2010년부터 교통운영체계 선진화 및 녹색 교통 활성화 방안으로 87개소 시범사업을 시작으로 2014년까지 총 419개소가 설치·운영 되고 있다. 회전교차로는 과거의 교통서클이나 로터리와는 운영이나 설계 측면에서 크게 차이를 보이며, 운영과 안전성 측면에서 큰 효과를 보이고 있다.

교통운영 측면에서 회전교차로 설치 시 양보에 의해 진입함에 따라 대기행렬이 길게 형성되지 않아 차량의 총지체가 감소하며 신호에 의한 손실시간이 발생하지 않는다. 또한 회전교차로는 차량들이 각 접근로에서 동시 접근이 가능하고, 교차로 이용 교통량이 적정 수준이하의 경우 좌회전 이동류와 U턴 이동류가 우회전처럼 운영되기 때문에 신호교차로보다 용량이 증대된다.

교통안전성 측면에서 일반 4지교차로를 회전교차로로 전환 시에 상충점이 16개에서 8개 지점(1차로기준)으로 감소하며 다차로 접근로(2차로 이상)의 경우 상충지점이 이보다도 증가하지만 상충 횟수의 감소로 근본적인 교통사고 발생가능성을 감소시킨다. 또한 적절하게 설계된 회전교차로에서의 속도차이는 20kph를 넘지 않기 때문에 기존의 사고확률 및 사고 심각도가 높은 교차에 의한 상충이 대폭 감소한다. 기존 신호교차로에서 회전교차로 전환 시, 한국교통연구원 연구결과 교통사고 발생 건수 평균 49.5% 감소, 통행시간 평균 30.4% 감소의 효과가 나타나는 것으로 분석되었다¹⁾.

최근 회전교차로 활성화 방안으로 전국적으로 회전교차로의 설치 및 운영이 확대되며 일반국도 등의 확대 설치 가능성에 대한 논의가 이루어지고 있다. 어린이보호구역(노인보호구역 등)과 같은 특수지역 도로에서도 회전교차로 설치를 요구하고 있다.

우리나라는 1995년 ‘어린이 보호구역의 지정 및 관리에 관한 규칙’을 제정하고 학교 주변의 300m이내를 어린이 보호구역(School Zone)으로 지정하여 교통환경을 개선하고 있다. 어린이 보호구역의 지정은 2009년

부터 2013년까지 지속적으로 지정되었으며, 2013년 전국 지자체에 15,444개가 설치되어 있다. 2009년부터 2013년까지의 어린이 보호구역내 교통사고는 연평균 579건이 발생하며 치사율은 1.2%를 나타내고 있다. 또한, 어린이보호구역 내 어린이 교통사고를 유형별(경찰청 사고통계, 2013)로 보면 ‘도로 횡단 중 발생’ 사고가 55.7%, ‘보도 통행 중 사고’ 5.3%, ‘차도 통행 중 사고’ 5.1%, ‘길 가장자리 구역 통행 중 사고’ 3% 순으로 나타난다.

본 연구는 회전교차로와 인접하여 어린이보호구역과 같은 보호구역이 있는 경우 보행안전성을 위한 별도의 신호 횡단보도의 설치 가능 여부를 판단하기 위한 연구이다. 어린이 보호구역이 인접한 교차로에서 회전교차로를 설치할 경우, 인접 신호횡단보도의 설치로 보행자의 안전성을 확보하면서 보행신호에 대한 영향을 최소화하여 회전교차로의 운영효율을 확보할 수 있는 적정 이격거리를 산정하고자 한다. 이를 위해 보행량, 보행신호시간, 진입교통량, 교통류 비율등을 고려하여 회전교차로 인접 신호횡단보도의 적정 이격거리를 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 수행절차

1) 연구의 범위

본 연구에서는 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM을 이용하여, 회전교차로 설계지침(국토해양부, 2010)에서 제시하고 있는 회전교차로 적용기준 및 기하구조를 적용하였다. 회전교차로의 형태는 소형회전교차로를 기준으로 설정하여 분석하였다. 본 연구에서 회전교차로 인접 신호횡단보도의 최소 이격거리 산정하기 위해 교통량과 보행신호시간, 보행량, 이격거리를 시나리오별로 구성하여 차량 평균지체를 분석하였다. 이를 통해 보행신호시간, 진입교통량, 방향별 교통량비율에 따른 평균지체를 산출하고 보행신호에 대한 영향을 최소화하여 회전교차로 운영효율을 유지할 수 있는 적정 이격거리를 제시함을 연구의 범위로 선정하였다.

2) 연구 수행 절차

본 연구에서는 우선적으로 회전교차로 인접 신호횡단보도의 설치에 관한 국내·외 사례 및 연구를 검토하였다.

1) 회전교차로 시범사업 성과도출 및 회전교차로 확대 방안연구, 2012.12, 한국교통연구원

특히, 기존 연구사례²⁾ 중 'effective yield operation at a stop line(회전교차로의 보행신호를 적용하여 효율적으로 운전자들이 정지선에서 양보함)'에 기반하여 진출부에서 최소 15-50m의 이격거리를 제시하고 있음에 따라 이를 토대로 국내 적용 시 적정 이격거리를 산출하고자 하였다. 또한, 기존 회전교차로에 관한 연구 중 보행자(보행신호시간)를 고려한 연구에서 분석방법 및 내용을 검토하였다. 이를 반영하여 교통시뮬레이션 수행 계획 및 방법을 수립하고, 다양한 조건에서 시뮬레이션 분석을 통해 적용가능한 최소 이격거리를 산정하였다. 산정된 최소 이격거리를 회전교차로 활성화 방안 중 어린이 보호구역과 인접해 있는 회전교차로에서 별도의 신호횡단보도 설치 시 적용가능성과 적용 시 반영해야 할 요소를 제시하였다.

기존 연구 고찰 및 국외 연구 동향

Vlahos(2008)는 전방향 정지제어 교차로를 회전교차로 및 신호교차로로 전환하기 위한 근거를 마련하기 위하여, 매릴랜드 주와 델라웨어 주의 전방향 정지제어 교차로를 조사하였다. 이를 SIDRA를 통하여 분석하였고 분석결과 대상지의 전방향 정지제어 교차로들은 회전 및 신호교차로로 전환 할 때 더 좋은 운영효율을 보이는 것으로 분석되었다.

Park et al.(2009)의 연구에서 시뮬레이션분석을 통해 회전교차로의 효율성을 분석하였다. 전반적으로 신호교차로보다 회전교차로의 효율성이 높지만, 진입교통량이 2,000대/시 이상일 경우 신호교차로보다 효율성이 떨어지며, 2,400대/시 이상일 경우 회전교차로 내에서 포화교통량 상태로 소통상태가 악화되는 것으로 분석되었다.

In at al.(2011)은 보행교통량 변화에 따른 회전교차로의 운영효과를 분석하였다. 분석결과, 보행량이 증가 시 회전교차로의 지체도는 증가하며, 보행교통량 1,000인/시 일 때 1차로 회전교차로에서는 총 진입교통량 800pcph, 2차로 회전교차로에서는 1,600pcph 이상 진입 시 신호교차로가 회전교차로보다 운영효율이 높게 분석되었다.

국토해양부의 회전교차로 설계지침(2010)에 따르면

회전교차로의 설치기준을 교통운영 측면에서 침두시 차로당 1시간 교통량인 400-500대로 제시하고 있으며, 일교통량을 기준으로 소형은 12,000(대/일), 1차로형은 20,000(대/일)로 제시하고 있다.

Lee and Kim(2011)은 회전교차로 도입 시 교차로 운영상의 효과를 극대화 시킬 수 있는 인접교차로사이의 적정거리를 도출하고 운영효과를 분석하였다. 분석한 결과, 150m이내에 신호교차로가 있을 경우 회전교차로의 교통소통효과는 급격히 감소함에 따라 회전교차로 도입 시 인접교차로와의 거리는 150m가 확보되어야 하는 것으로 분석되었다.

Kim and Choi et al.(2011)은 도시부에서 보행량이 회전교차로의 운영 효율에 미치는 영향을 분석하기 위하여 VISSIM을 이용하였다. 보행량에 따라 신호가 있는 원형교차로와 신호가 없는 회전교차로로 구분하고 교차로에서의 평균차량지체도를 산정 한 후 분석 한 바 있다. 도시부 회전교차로 설치 시 보행량이 200인/시 이하인 경우 회전교차로가 적합하며 보행량이 200인/시 이상인 경우는 펠키컨 신호가 있는 원형교차로³⁾, 보행량 600인/시가 높으면서 교통량이 1,500대/시 이상인 경우는 정주기식 신호가 있는 신호교차로가 적합하다고 제시하였다.

Kim et al.(2012)은 보행신호 운영에 따른 회전교차로의 차량 지체를 시뮬레이션을 통해 분석하였으며 그에 따른 평균지체가 감소하는 것으로 분석하였다.

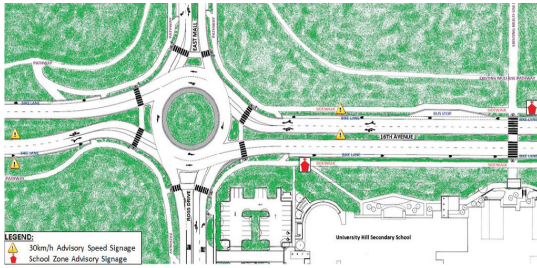
Moon et al.(2013)은 회전교차로의 보행신호 설치 효과를 시뮬레이션 분석하였다. 분석결과 회전교차로의 교통량 및 보행자 수에 따른 보행신호 운영결과가 교통량이 시간당 400대이며 보행량이 300명 일 때, 신호대안1 주기 70-80초 또는 신호대안2 주기 60-80초가 적합한 것으로 분석되었다.

Baranowski(2005)는 회전교차로에 설치되는 횡단보도를 접근로의 상류부로 이동시켜 보행자의 안전성과 시야확보를 향상하고자 제안한 바 있다. 또한 회전교차로 내 보행자의 안전성을 증가 시키기 위해 신호횡단보도 설치 시에 보행신호버튼을 통한 신호제어방식을 제안하였다.

미국의 MUTCD(Manual on Uniform Traffic Control Devices)는 4시간동안 100명/시, 1시간동안

2) Roundabouts : An Informational Guide 2nd Edition, 2010, Transportation Research Board

3) 원형교차로는 우리나라에서 기존에 운영되고 있는 로터리와 회전교차로의 총칭이며, 해당 연구에서는 일부 로터리와 회전교차로를 함께 조사하여 결과를 분석하였다.



source: 16th Avenue consultation report, 2006, University of British Columbia

Figure 1. Case of signal crosswalk in roundabouts

190명 이상이거나 보행자 횡단간격이 1시간 동안 60번 이하 일 때 보행신호를 운영하도록 권장하고 있다. FHWA는 4시간동안 60명/시, 2시간동안 90명/시, 1시간 동안 110명 이상일 때 보행신호를 운영하도록 제시하였다. 미국의 FHWA Guide(Federal Highway Administration Guide)에서는 회전교차로에서 보행신호 운영 시 회전부의 교통류를 방해하지 않도록 회전부로부터 최소한 20m이상 이격거리를 두어야 한다고 권장하고 있다. 또한 회전교차로의 보행신호를 적용하여 효율적으로 운전자들이 정지선에서 양보하도록 하기 위하여 (effective yield operation) 진출부에 최소 15m에서 50m의 이격거리를 두도록 하고 있다.

캐나다의 UBC(University of British Columbia)의 연구결과를 바탕으로 어린이(보행자)보호구역에서 회전교차로 인접 신호횡단보도 설치 시 5가지의 요소(통행 속도, 교통량, 운전자행태, 시거, 정지지체)를 고려하여 최소이격거리를 150m로 산정하였다. 이는 횡단보행자의 안전성, 교통류의 back-up으로 인한 위험성과 회전교차로의 교통운영 효과를 적절하게 유지시킬 수 있는 거리로 적절하다고 판단하였다. 실제 적용사례는 Figure 1으로 캐나다의 SW Marine Drive와 Wesbrook Mall 사이의 West 16th Avenue 구간 중 회전교차로 인접 신호 횡단보도의 설치하였다.

2. 연구의 차별성

기존 선행연구들은 회전교차로의 효율성과 안전성에 관한 연구들이 대부분으로 회전교차로 설계 시 고려요소에서 단순히 교통량 및 보행자 수에 따른 회전교차로 운영 측면과 회전교차로 설치 전·후의 교통사고 감소효과 측면에서 많은 연구가 진행되었다.

또한, 회전교차로 신호운영에 관해서는 회전교차로 내 횡단보도의 보행신호를 운영하는 예외의 경우에 대해서만 기준만을 단순히 제시하고 있다. 연구의 차별성은 다음과 같다.

어린이보호구역 인접 교차로에 회전교차로가 있는 경우 별도의 신호 횡단보도 설치 시 보행량 및 보행녹색시간 등을 고려한 다양한 조건을 통한 회전교차로 인접 신호 횡단보도의 설치에 따른 운영효과를 분석하였다. 이를 통해 인접 신호횡단보도 설치 시 적정 이격거리를 보행신호에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 이격거리를 산정하였다. 따라서, 기존 보행신호에 의한 영향을 고려한 회전교차로 설계방법이 전무한 실정에서 회전교차로 접근로에 보행신호 설치 시 고려사항을 제시하였다. 또한, 회전교차로 인접 신호횡단보도 설치 시 보행신호에 대한 영향을 줄이기 위한 이격거리를 제시함으로써 신호횡단보도 설치 가능성을 확인하였다.

연구 방법

1. 시뮬레이션 프로그램 선정

본 연구에서 교통량, 보행신호시간, 방향별 교통량에 따른 어린이 보호구역 인접 회전교차로 사이의 신호횡단보도 설치 시 회전교차로에 대한 영향을 분석하기 위해 교통시뮬레이션 활용하여 분석 하였다. 효과분석적도는 회전교차로 운영효율을 판단하는 효과적도인 평균지체를 활용하였다. 본 연구에서 미시적 시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 위의 세가지 조건에 따른 평균지체를 산정하여 분석하였다. 본 연구에서 활용한 VISSIM은 모형 사용자가 교통 운영이나 교차로에서의 교통류를 제어하기 용의하며, 차로별 특성을 고려한 차로제어가 가능하다. 또한, 시뮬레이션 상에서 통과교통량을 구현 시, 이산분포를 통하여 확률에 따른 랜덤교통량을 구현하여 현실적인 분석이 가능하다. 이외에도 보행교통량을 고려하여 분석 할 수 있으며 운전자 행태를 기초로 만들어진 프로그램으로서 도시부 및 지방부 도로에서 다양한 형태의 교통특성을 사실적으로 분석가능한 장점이 있다. 본 연구에서는 위와 같은 장점을 지닌 VISSIM을 이용하여 회전교차로의 평균지체 변화를 토대로 인접 신호횡단보도의 영향을 분석하였고 이에 따른 보행신호 영향을 최소화 할 수 있는 적정 이격거리를 산정하였다.

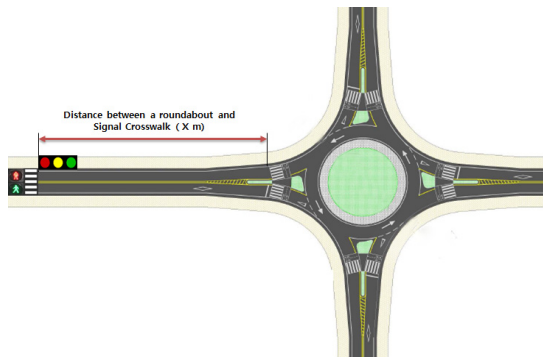


Figure 2. A concept of distance between a roundabout and a signalized crosswalk

2. 분석 시나리오 작성

1) 회전교차로 신호횡단보도 이격거리

본 연구에서는 기존 『회전교차로 설치지침, 2010』에 따른 회전교차로 설치 시 제시된 기존 비 신호횡단보도의 이격거리 6m의 영향에 대한 고려는 제외하였다. Figure 2에서 보는 바와 같이, 비신호횡단보도 설치간격 6m를 기준으로 이후 최소 10m에서 최대 100m까지 이격거리를 10m 간격으로 증가시켰다. 이를 통해 신호횡단보도의 이격거리 변화에 따른 차량 평균지체를 비교하여 보행신호 영향을 최소화하는 적정이격거리를 산정하였다.

2) 보행녹색신호시간 산정

보행자 수에 따른 보행신호시간 산정을 위해 경찰청 『교통신호기 설치·관리 매뉴얼, 2011』에서 제시된 보행 횡단시간 산정식(1)을 활용하였다.

$$T = T_s + T_f = t + L/V_1 \tag{1}$$

T = 보행자 전체 신호시간(초)

T_s = 녹색고정시간(초)

$$= T - T_f = (t + L/V_1) - T_f$$

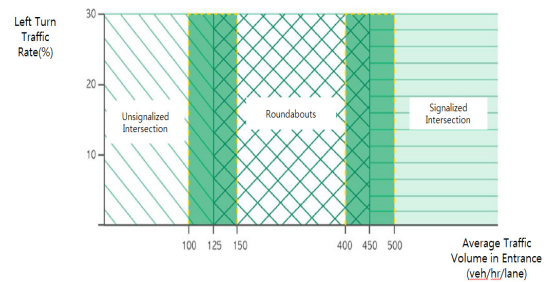
T_f = 녹색점멸시간(초) = L/V_2

t = 초기진입시간(초)

L = 보행자횡단거리(m)

V_2 = 1.3m/s

초기진입시간은 적용범위인 3-7초 중 본 연구의 공간적 범위인 어린이보호구역을 고려하여 7초를 적용하였



source: Korean Roundabout Design Guide, Ministry of Land, 2010

Figure 3. A standard traffic volume for a roundabout

다. 보행자속도는 어린이 등 교통약자의 평균 보행속도인 0.8m/s를 적용하였다. 횡단보도의 길이는 7m, 너비는 7m로 각각 가정하였다. 이를 식(1)로 산출하면 보행자 전체신호시간은 15.8초로 산정되었다. 본 연구에서는 다양한 보행신호시간의 적용을 위해 15초, 20초, 25초로 추가 구분하였다. 각 보행신호시간별 회전교차로 지체시간의 변화를 통해 보다 타당한 적정 이격거리 산정을 하고자 한다.

3) 회전교차로 이용차량대수(진입교통량)

본 연구에서는 『회전교차로 설계지침(2010, 국토교통부)』에서 제시하고 있는 회전교차로 권장기준교통량(125-450대/시/차로)을 고려하였다. 이에 따라 방향별 진입 교통량을 100대/시/차로부터 100대씩 증가하여 600대/시/차로까지 적용하였다. 이때 방향별 교통량비율을 2:7:1, 3:6:1, 4:5:1로 구분하여 좌회전과 직진의 비율을 적용하였다. 또한, 네트워크 전 구간에는 다른 차량진출입로는 없는 것으로 가정하였다.

4) 분석조건 및 시나리오 설정

시뮬레이션(VISSIM)에서 회전교차로 구축은 『회전교차로 설계지침(2010, 국토해양부)』에서 제시하고 있는 소형회전교차로를 기준으로 연구를 수행하였다. 보행신호시간과 교통량, 방향별 교통량에 따라 시나리오를 구축하고 평균지체를 분석하였다. 본 연구에서는 회전교차로 인접 신호횡단보도에 따른 영향을 서비스 수준 C(15-25초/대)와 D(25-35초/대)를 기준으로 이격거리를 산정하였다. 서비스 수준 C와 D는 비교적 안정적인 교통류이며 일정한 주행속도를 유지할 수 있게 된다. 일반적으로 『도로 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및

지침, 2000」에서 도시지역의 일반도로 경우 설계서비스수준 D를 설계기준으로 하고 있다. 본 연구에서는 기존 설계서비스수준 D와 이보다 한 단계 상위 수준인 C를 함께 비교분석하여 결과를 제시해보고자 한다. 「도로용량편람, 2013, 국토해양부」에서 제시하는 회전교차로 서비스수준 기준은 Table 1과 같다.

시뮬레이션 시나리오는 Table 2에서 보는 바와 같이 Scenario 1, Scenario 2, Scenario 3 으로 구성하였다. VISSIM분석 시 차량 사이의 Car-following 함수는 Wiedemann 모형(단속류: Wiedemann 74)을 반영하였으며, 속도 분포는 도시부 도로 제한속도인 60km/h(속도 분포 : 55-65km/h)를 반영하였다. 또한, 회전교차로 내 차량속도는 20km/h로 설정하였으며

Table 1. LOS criteria for roundabouts

LOS	Ave.delay(sec/veh)	Volume per Capacity(v/c)
A	0-10	≤ 1.0
B	10-15	
C	15-25	
D	25-35	
E	35-50	
F	50~	> 1.0

Table 2. Simulation scenario

Elements	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Traffic Volume(v/h)		100-600	
% of Directional Traffic(L:T:R)	20:70:10	30:60:10	40:50:10
Signal Crosswalk Separation Distance(m)		10-100	
Pedestrian Green time(sec)		15, 20, 25	
Cycle(sec)		90	
Velocity Profile(km/h)		60(55-65)	
Heavy vehicle ratio		0%(Passenger car: 100%)	
Roundabout Inside Speeds(km/h)		20	
Inscribed Circle Diameter(m)		22	
Circulatory Roadway Width(m)		7	
Pedestrian Speed(m/s)		0.8	
MOE		Average control delay(sec/veh)	
Car following Model		Wiedemann 74	
Random seed		10	

내접원의 크기는 22m로 설정하였다.

본 연구에서는 회전교차로 인접 신호횡단보도 이격거리에 따른 네트워크 전체 차량 당 평균지체를 효과적으로 설정하여 분석하였다. 사용된 지체개념은 이동민·김도훈(2011)에서 제시된 지체개념(2)을 사용하였다. 600초의 네트워크 안정화시간(Warm-up time)와 랜덤시드(Random Seed) 10회를 통해 적용하여 분석결과의 왜곡을 최소화하였다.

$$\text{평균지체시간(초/대)} = \frac{\sum_i^n AT_i - \sum_i^N DT_i}{N} \quad (2)$$

N : 통과차량대수

AT_i : 실제 속도에 따른 i 차량의 통과시간

DT_i : 희망속도에 따른 i 차량의 통과시간

시나리오별 결과분석 및 평가

1. 시나리오별 결과분석

시뮬레이션 구축을 통해 회전교차로 인접 신호횡단보도 미설치 시 분석결과 방향별 교통량 비율에 따른 평균지체는 Figure 4와 같다. 회전교차로 미 설치 시 VISSIM분석 결과 회전교차로 설치 권장 차로당 교통량 200-500대/시에서 평균 서비스수준은 B(평균지체 8초/대)로 나타났다. 또한 방향별 교통량 비율이 2:7:1에서 4:5:1로 좌회전비율이 증가할수록 평균지체는 증가하는 것으로 나타났다. 이 연구에서 설정한 네트워크를 통한 시나리오 분석 결과, 기존 연구에서 나타난 바와 같이 회전교차로 설치 시 평균 200-500대/시에서 교통측면에서 운영효율을 가져올 수 있는 연구결과에 부합함을

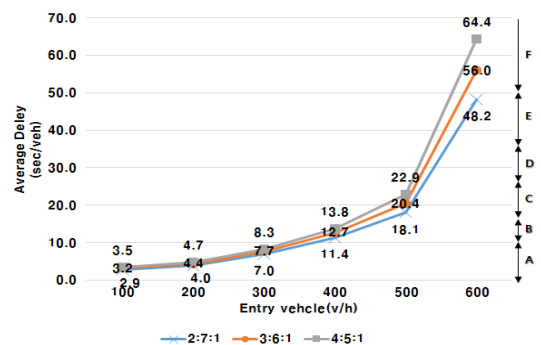


Figure 4. Average delay : non-established signal crosswalk

확인하였다. 이를 통해 회전교차로 인접 신호횡단보도 설치 시와 미설치시의 평균지체와 비교함으로써 신호에 대한 영향을 최소화할 수 있는 적정이격거리를 산정하였다.

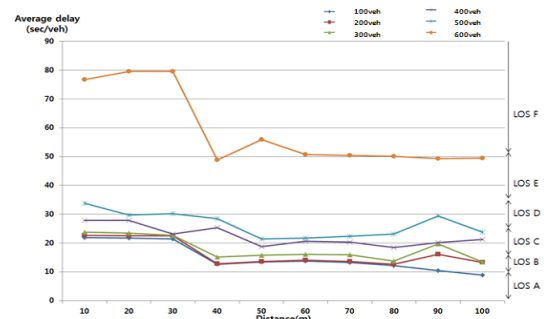
1) 2:7:1 방향별 교통량 비율 시나리오 분석결과

Table 3는 방향별 교통량이 2:7:1일 경우, 보행녹색 시간과 진입교통량별 회전교차로 평균지체 결과이다. 일반적으로 회전교차로 인접 신호횡단보도 설치 시 보행신호 시간과 진입교통량이 증가할수록 평균 지체시간이 증

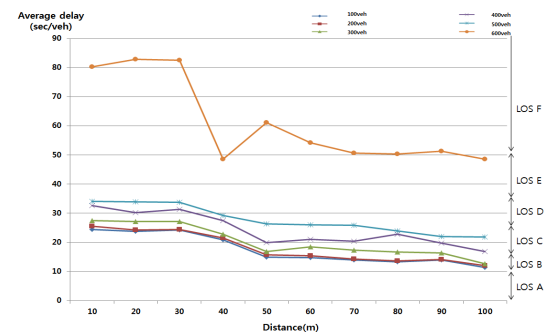
가되는 것으로 나타났다. 방향별 교통량이 2:7:1일 경우, 기존 회전교차로 인접 신호횡단보도 미 설치 시보다 평균지체는 평균 3.7배 증가하였다. 신호횡단보도 설치로 이격거리 30m까지는 지체가 증가하며 이격거리 40m에서 보행녹색시간 15초의 경우 서비스 수준 C(15-25sec/veh)로 감소하였다. 또한 이격거리 50m에서 부터는 보행녹색시간 20초, 25초에서도 서비스 수준 C와 유사한 지체정도를 나타내었다. Figure 5는 이격거리별 평균지체에 따른 서비스수준 상태를 나타낸다.

Table 3. Comparison results of Ave. delays (20:70:10)

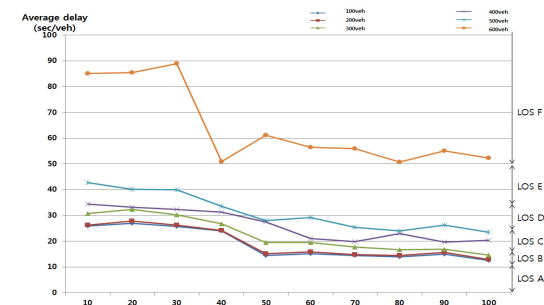
Dis. (m)	Green Time (sec)	Entry Traffic Volume(v/h)					
		100	200	300	400	500	600
10	15	21.9	22.7	23.7	27.9	33.8	76.7
	20	24.5	25.5	27.5	32.6	34.1	80.3
	25	25.9	26.2	30.8	34.4	42.7	85.1
20	15	21.7	22.5	23.4	27.8	29.8	79.5
	20	23.8	24.3	27.2	30.3	33.9	82.9
	25	26.9	27.8	32.3	33.1	40.2	85.4
30	15	21.5	22.5	22.7	23.2	30.2	79.5
	20	24.2	24.4	27.1	31.3	33.8	82.5
	25	25.8	26.2	30.2	32.4	39.9	88.9
40	15	13.5	13.6	15.8	18.7	21.4	55.9
	20	20.9	21.6	22.8	27.5	29.2	58.8
	25	23.9	24.1	26.7	31.3	33.6	60.9
50	15	12.7	12.8	15.1	25.3	28.5	58.6
	20	14.4	15.1	16.8	20.0	26.3	61.1
	25	14.9	15.7	19.4	27.5	28.0	64.1
60	15	13.7	14.0	16.1	20.7	21.8	50.8
	20	14.8	15.5	18.5	21.1	26.1	54.2
	25	15.1	15.9	19.5	21.1	29.2	56.4
70	15	13.2	13.6	15.9	20.3	22.4	50.4
	20	13.9	14.3	17.4	19.9	25.3	50.7
	25	14.4	14.8	17.8	20.4	25.9	55.9
80	15	12.2	12.7	13.7	18.4	23.1	50.1
	20	13.3	13.7	16.7	20.9	22.9	50.4
	25	13.9	14.5	17.7	22.8	23.9	50.7
90	15	10.5	14.2	16.4	17.7	22.1	49.3
	20	13.9	15.7	16.8	19.8	23.3	51.3
	25	14.9	16.1	19.7	20.2	23.4	55.0
100	15	8.9	12.0	12.7	16.9	21.8	48.6
	20	11.4	12.8	13.5	20.4	23.4	49.5
	25	12.6	13.2	14.6	21.3	23.7	52.3



(a) Pedestrian Green Time = 15sec



(b) Pedestrian Green Time = 20sec



(c) Pedestrian Green Time = 25sec

< Scenario 1 >

Figure 5. Result of the distance between roundabouts and signal crosswalk for LOS C(2:7:1)

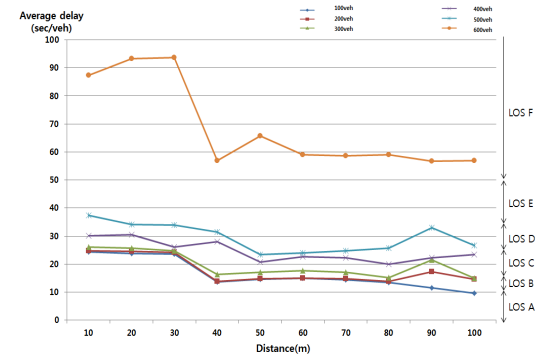
2) 3:6:1 방향별 교통량 비율시 시나리오 분석결과

Table 4는 방향별 교통량이 3:6:1일 경우, 보행녹색 시간과 진입교통량별 회전교차로 평균지체 결과이다. 이 경우 회전교차로 인접 신호횡단보도 설치 시 보행신호 시간과 진입교통량이 증가할수록 평균 지체시간이 방향별 교통량 2:7:1보다 소폭 더 증가되는 것으로 나타났다. 방향별 교통량이 3:6:1일 경우, 기존 회전교차로 인접 신호횡단보도 미 설치 시보다 평균지체는 평균 3.9배 증가하였다. 신호횡단보도 설치로 이격거리 40m까지는 지체

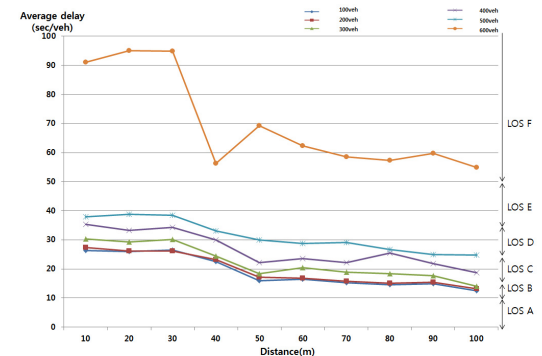
Table 4. Comparison results of Ave. delays (30:60:10)

Dis. (m)	Green Time (sec)	Entry Traffic Volume(v/h)					
		100	200	300	400	500	600
10	15	24.3	24.7	26.1	30.2	37.4	87.4
	20	26.3	27.4	30.4	35.3	38.0	91.0
	25	28.1	29.0	33.8	38.1	47.9	100.0
20	15	23.8	24.5	25.7	30.5	34.2	93.3
	20	25.9	26.1	29.3	33.2	38.8	95.0
	25	29.4	30.4	35.0	36.7	44.9	100.1
30	15	23.6	24.2	24.8	26.0	33.9	93.6
	20	26.5	26.2	30.1	34.3	38.5	94.9
	25	28.2	28.1	32.7	35.6	44.1	100.6
40	15	13.7	13.8	16.4	28.1	31.5	57.0
	20	22.5	23.2	24.5	30.0	33.1	56.3
	25	26.1	26.4	28.8	34.2	37.8	57.6
50	15	14.6	14.7	17.1	20.7	23.5	65.7
	20	15.8	16.6	18.3	22.2	30.0	69.2
	25	16.0	17.1	20.8	30.3	31.0	70.5
60	15	15.0	15.0	17.7	22.7	24.0	59.0
	20	16.2	16.8	20.5	23.5	28.7	62.4
	25	16.4	17.5	21.3	23.6	32.6	66.5
70	15	14.5	14.7	17.0	22.0	24.7	58.5
	20	15.2	15.8	18.9	22.1	28.3	58.6
	25	15.8	15.9	19.3	23.3	29.1	65.9
80	15	13.4	13.9	15.2	20.0	25.8	58.1
	20	14.5	15.0	18.1	24.8	26.5	59.4
	25	15.2	15.7	18.3	25.4	26.7	60.5
90	15	11.5	15.5	17.7	21.4	25.0	56.7
	20	14.9	16.9	18.0	21.8	30.2	59.7
	25	16.2	17.3	21.5	22.3	33.0	63.1
100	15	9.7	13.2	14.1	18.8	24.7	47.9
	20	12.5	13.7	15.0	22.8	26.7	57.0
	25	13.7	14.6	15.8	23.4	26.8	60.4

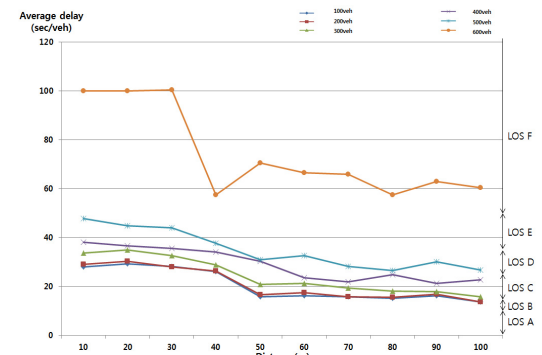
가 증가함을 확인 할 수 있다. 이격거리 50m에서 보행녹색시간 15초의 경우 서비스 수준 C(15-25sec/veh)로 감소하였으며, 이격거리 50-60m에서 부터는 보행녹색시간 20초, 25초에서도 서비스 수준 C와 유사한 지체 정도를 나타내었다. Figure 6는 이격거리별 평균지체에 따른 서비스수준 상태를 나타낸다.



(a) Pedestrian Green Time = 15sec



(b) Pedestrian Green Time = 20sec



(c) Pedestrian Green Time = 25sec

< Scenario 2 >

Figure 6. Result of the distance between roundabouts and signal crosswalk for LOS C(3:6:1)

3) 4:5:1 회전교통량 비율시 시나리오 분석결과

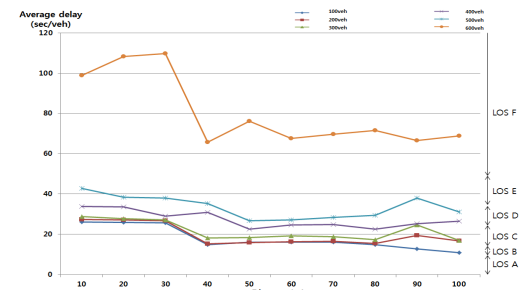
Table 5는 방향별 교통량이 4:5:1일 경우, 보행녹색 시간과 진입교통량별 회전교차로 평균지체 결과이다. 이 경우 회전교차로 인접 신호횡단보도 설치 시 보행신호 시간과 진입교통량이 증가할수록 평균 지체시간이 기존 방향별 교통량(2:7:1, 3:6:1)보다 더 증가되는 것으로 나타났다. 방향별 교통량이 4:5:1일 경우, 기존 회전교차로 인접 신호횡단보도 미설치 시보다 평균지체는 평균 4.0배 증가하였다. 신호횡단보도 설치로 이격거리 40m까지는 지체가 증가함을 확인 할 수 있다. 이격거리 50m에서 보행녹색시간 15초의 경우 서비스 수준 C(15-25sec/veh)

Table 5. Comparison results of Ave. delays (40:50:10)

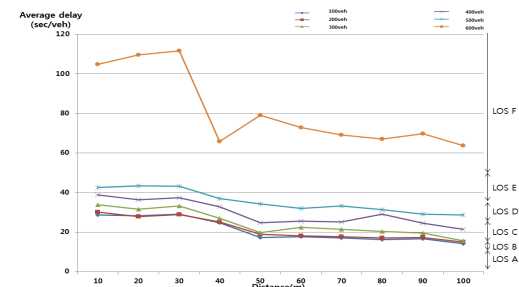
Dis. (m)	Green Time (sec)	Entry Traffic Volume(v/h)					
		100	200	300	400	500	600
10	15	26.1	27.3	28.7	33.7	42.8	98.8
	20	28.6	30.0	33.8	38.8	42.5	104.9
	25	30.3	31.9	36.1	41.9	54.0	114.1
20	15	25.9	27.2	27.8	33.5	38.4	108.2
	20	28.2	27.9	31.6	36.3	43.4	109.6
	25	31.4	33.2	37.6	40.3	51.1	114.9
30	15	25.6	26.7	27.1	28.9	37.9	109.7
	20	29.0	28.8	33.3	37.3	43.1	111.8
	25	30.9	30.7	35.6	39.0	49.4	118.2
40	15	16.0	15.9	18.4	22.5	26.6	76.1
	20	24.8	25.2	27.0	32.9	37.0	65.9
	25	28.3	28.7	30.9	37.2	41.7	66.7
50	15	14.7	15.3	18.1	24.7	34.2	65.7
	20	17.3	18.8	19.7	30.9	35.3	79.1
	25	17.5	18.1	22.4	33.3	35.5	81.9
60	15	16.1	16.2	19.1	24.7	27.1	67.5
	20	17.6	18.0	22.5	25.6	31.9	72.8
	25	17.4	18.9	23.4	25.9	36.9	75.6
70	15	16.1	16.4	18.8	24.9	28.4	69.1
	20	17.0	17.7	21.3	25.1	32.4	69.7
	25	17.7	18.7	21.9	25.5	33.2	77.9
80	15	14.7	15.5	17.2	22.5	29.5	67.0
	20	16.1	17.1	20.3	25.9	30.3	67.4
	25	17.2	17.6	20.5	26.9	31.3	71.5
90	15	12.7	17.2	19.5	23.2	29.0	66.5
	20	16.6	18.7	19.8	24.4	35.4	69.8
	25	17.9	19.3	24.5	25.3	37.9	74.3
100	15	10.8	15.0	15.6	21.4	28.6	63.8
	20	14.2	15.6	16.8	24.4	30.9	68.9
	25	15.4	16.6	17.9	25.2	31.0	73.1

로 감소하였으며, 이격거리 60-70m에서 부터는 보행 녹색시간 20초, 25초에서도 서비스 수준 C와 유사한 지체 정도를 나타내었다. Figure 7는 이격거리별 평균지체에 따른 서비스수준 상태를 나타낸다.

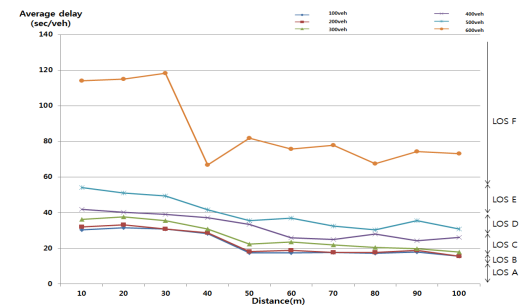
시나리오별 분석결과, 회전교차로 인접 신호횡단보도의 이격거리에 따른 평균지체를 보면 회전교차로와의 이격거리가 근접할수록 높은 평균지체가 산출되었다. 또한 신호횡단보도의 설치로 인한 영향은 각 시나리오에서 최소 30-40m까지로 분석되었으며, 이격거리가 40m 이후 부터는 회전교차로의 평균지체가 감소하는 추세를 나타내었다. 이를 통해 신호횡단보도 설치에 따른 회전교차로 운영에 대한 영향이 평균적으로 보행신호시간이



(a) Pedestrian Green Time = 15sec



(b) Pedestrian Green Time = 20sec



(c) Pedestrian Green Time = 25sec

< Scenario 3 >

Figure 7. Result of the distance between roundabouts and signal crosswalk for LOS C(4:5:1)

25초 이하일 경우, 40m의 이격거리 내에서는 신호횡단 보도로 인한 정지지체와 대기행렬에 의해 영향을 받게 되지만, 40m이후부터는 신호횡단보도로 인한 영향이 점차 감소함을 알 수 있다.

산출된 평균지체를 회전교차로 서비스 수준을 고려하여 회전교차로 인접 신호횡단 보도 설치시의 최소이격거리를 산출한 결과는 다음과 같다. 회전교차로 서비스 수준 D(평균지체 25-35초/대)로 판별할 경우, 교통량에 따른 영향이 가장 큼에 따라 다른 변수에 의한 영향을 정확히 고려할 수 없는 한계가 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 회전교차로 권장 교통량(100-500대/시)를 모두 포함 할 수 있는 서비스 수준 C(평균지체 15-25초/대)를 기준으로 최소 이격거리를 산정하였다. 앞서 Figure 5-7은 보행녹색시간과 진입교통량에 따른 이격거리별 평균지체를 통해 서비스 수준 C를 충족하는 이격거리를 보여준다.

2. 시나리오별 평가 및 최소이격거리산정

본 연구에서 보행녹색시간과 진입교통량을 고려한 회전교차로 신호횡단보도의 설치 시 산정된 최소이격거리는 Table 6과 같다. Table 6은 회전교차로 설치 시 인접 신호횡단보도를 설치할 경우, 방향별 교통량과 보행녹색시간에 따른 최소 이격거리 결과이다. 본 연구에서는 어린이보호구역 인접 회전교차로를 대상으로 별도의 신호횡단보도 설치 시 회전교차로의 효율을 확보할 수 있는 신호횡단보도 최소이격거리를 제시하였다.

결론

최근 어린이보호구역 인접 회전교차로 설치방안에 대해 지속적 논의가 되고 있다. 또한, 교차로의 안전성 확보 차원에서 회전교차로의 활성화 방안을 위해 대대적으로

로 홍보 및 지원활동을 하고 있다. 그러나 어린이보호구역과 인접한 교차로에서 회전교차로 설치 시 필수적으로 필요한 신호횡단보도 설치하여야 하나 인접보행신호에 따른 영향에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 어린이보호구역 인접 지역(교차로)에서 회전교차로 도입 시 신호횡단보도 설치의 최소이격거리를 산정하여 회전교차로의 효율을 유지할 수 있는 적정거리를 제시하였으며 고려요소를 제시하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 회전교차로 인접 횡단보행자를 위한 신호횡단보도 설치 시 이전보다 평균지체는 3.7-4.0배 증가하지만 일정 거리를 이격시키면 신호횡단보도를 설치 한 후에도 회전교차로 설치의 효율을 가져올 수 있는 것으로 나타났다.

2. 회전교차로의 진입교통량의 방향별 교통량에 따라 평균지체가 증가함을 확인함에 따라 좌회전 비율이 높은 교차로에서는 보다 이격거리를 증가 시켜 적용하여야 한다고 판단되었다.

3. 본 연구결과를 바탕으로 회전교차로 인접 신호횡단보도를 설치 시에 최소 40m 이상의 이격거리가 필요하며 보행자 수에 따른 보행시간, 진입교통량의 변화에 따른 회전교차로 운영효과를 확보할 수 있는 이격거리를 Table 6에 제시하였다.

본 연구에서 제시된 최소이격거리는 회전교차로 인접 신호횡단보도 설치 시 회전교차로의 교통소통효과를 유지 가능한 최소 이격거리이다. 어린이보호구역과 같이 보행안전성을 고려해야하는 구역에서는 회전교차로 설치 시, 인접 신호횡단보도 설치를 통해 교통소통효과 및 보행자 횡단의 안전·편의성 등을 필수적으로 고려하여야 한다. 따라서 현재의 회전교차로 확대방안 중 보행교통량이 많거나 보호구역(어린이, 노인)등의 경우 신호횡단보도를 필수적으로 설치하여야 한다. 이 경우 신호횡단보도와 회전교차로 간 적정 이격거리를 확보한다면 회전교차로 운영효율을 확보 할 수 있다.

본 연구에서 고려하지 못한 운전자의 행동 및 시거, 정지지체, 비 신호횡단보도(회전교차로 내 횡단보도)의 영향도, 보행자의 안전성을 추가적으로 고려한다면 본 연구에서 제시한 최소이격거리보다는 실제 현장 적용 시에는 보다 간격이 넓은 이격거리가 필요하다고 판단된다. 또한 다양한 상황을 고려했음에도 시뮬레이션 파라미터의 범위를 한정하여 최소이격거리의 범위가 40-60m로 한정되었다. 본 연구에서 회전교차로 설치

Table 6. Analysis results for distance between a roundabouts and a signal crosswalk

Classification	% of Directional Traffic Flow (L:T:R)	Pedestrian Green Time		
		15sec	20sec	25sec
Minimum Distance	20:70:10	40m	50m	50m
	30:60:10	50m	50m	60m
	40:50:10	50m	50m	70m

Entry Traffic Volume: 200veh/h/lane - 500veh/h/lane

시 인접 신호횡단보도의 이격거리 기준값을 제시함에 있어서 미시적시뮬레이션인 VISSIM을 활용하였다. 이에 따라 VISSIM모형에 대한 검정과정(calibration)을 수행하여야 하나 본 연구와 같은 회전교차로 인접 신호횡단보도가 실제 존재하지 않아 이를 수행함에 있어 한계를 지니고 있다. 또한 회전교차로 분석 연구에서 주요 영향 값인 상충교통량, 임계간격, 추종시간, 최소 차두 간격에 대한 현장 적용값을 반영하지 못하여 검정과정의 한계를 지니고 있다. 추후 연구에서는 보다 현실적인 다양한 파라미터 값을 반영하고 VISSIM모형에 대한 검정과정(calibration) 수행한다면 보다 현실적인 이격거리를 제시할 수 있을 것으로 예상된다.

REFERENCES

- Baranowski B. (2005), Pedestrian Crosswalk Signals at Roundabouts: Where are They Applicable, Presented at ITE District 6 Annual Meeting, June 2004.
- Gagnon C., Sadek A. W., Touchette A., Smith M. (2008), Calibration Potential of Common Analytical and Micro Simulation Roundabout Model : New England Case Study, TRR, 2071, 77-86. DOI: 10.3141/2071-10.
- In B. C., Park M. K., Park B. H. (2011), Operational Effectiveness of Roundabout by the Change of Pedestrian Traffic Volume, J. of Korea Institute of Intelligent Transportation System, 10(6), 24-31.
- Kim E. C., Ji M. K. (2009), A Study of Level of Service Criteria for Roundabouts, J. Korean Soc. Transp., 27(1), Korean Society of Transportation, 7-16.
- Kim K. H., Park B. H. (2012), Effectiveness Analysis of Roundabout Based on the Operation of Pedestrian Signal, J. of Korea Institute of Intelligent Transportation System, 11(4), 1-9.
- Kim S. Y., Choi J. S., Lee S. I., Kim M. K., Kim Y. I., Jeon B. K. (2011), A Study of Roundabout Operation According to the Pedestrian Volume, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 13(4), 143-150.
- Lee D. M., You J. H. (2013), A Study on Appropriate Traffic Volume Calculation for Revitalizing Roundabout Installation, J. Korean Soc. Transp., 31(6), Korean Society of Transportation, 43-52.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), Korean Roundabout Design Guide.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2013), Korean Highway Capacity Manuals, 490-498.
- Presidential Council on National Competitiveness (2012), Analysis of Roundabout Construction Results, White Paper.
- Sadeq H. (2013), Automated Roundabout Safety Analysis: Diagnosis and Remedy of Safety Problems, MSc dissertation, Vancouver: University of British Columbia, 2013.
- Korea Transport Institute(2010), A Study of a Roundabout Application in Road Networks.
- Korea Transport Institute(2011), A Study for Roundabout Vitalization Ways in Korea.
- TRR(2010), Roundabouts: An Informational Guide 2nd Edition.
- Vlahos E., Polus A., Lacombe D., Ranjitkar P., Faghri A., Fortunato B. (2008), Evaluating Conversion of All-Way Stop-Controlled Intersection Into Roundabout, TRB 2008 Annual Meeting, 2078, 80-89. DOI: 10.3141/2078-11
- 알림 : 본 논문은 한국교통연구원 『회전교차로 정책지원 및 연구사업』 중 “회전교차로 주변 외적요인 영향 분석 및 회전교차로 주행조건에 따른 교통사고 발생빈도분석” 연구결과를 정리한 내용입니다.
- ✉ 주 작성자 : 김영범
 ✉ 교신저자 : 이동민
 ✉ 논문투고일 : 2015. 1. 22
 ✉ 논문심사일 : 2015. 3. 8 (1차)
 2015. 7. 21 (2차)
 2015. 8. 18 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2015. 8. 18
 ✉ 반론접수기한 : 2015. 12. 31
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필