

보행교통량 변화에 따른 회전교차로의 운영효과

Operational Effectiveness of Roundabout by the Change of Pedestrian Traffic Volume

인 병 철* 박 민 규** 박 병 호***
 (Byung-Chul In) (Min-Kyu Park) (Byung-Ho Park)

요 약

본 연구는 회전교차로의 운영효과를 다루고 있다. 회전교차로는 신호교차로에 비해 지체감소와 친환경적이라는 기존 연구결과에 따라 우리나라에서 설치가 고려되는 실정이다. 본 연구의 목적은 보행교통량을 고려한 회전교차로의 운영효과를 분석하는데 있다. 이를 위해 이 연구는 교차로 네트워크를 구성하고 보행교통량과 진입교통량에 따른 분석시나리오를 설정하고, 차량당 평균제어지체 비교·분석에 중점을 두고 있다. 이 연구에서는 VISSIM 프로그램이 교통 시뮬레이션 도구로 사용된다.

분석된 주요결과는 다음과 같다. 첫째, 보행교통량에 근거하여 지체를 분석한 결과, 보행교통량이 회전교차로의 운영에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 둘째, 보행교통량이 증가할수록 회전교차로의 지체도 증가하여, 보행교통량 1,000인/시 일 때 1차로 회전교차로에서는 총 진입교통량 800pcph, 2차로 회전교차로에서는 1,600pcph 이상 진입 시 신호교차로가 회전교차로보다 운영효율이 높게 평가되었다.

Abstract

This study deals with the operational effectiveness of roundabout. The roundabout is currently under consideration in our country depending on the result of existing researches, that the roundabout decreases delay and is environmentally friendly compared to the signalized intersection. The purpose of the study is to analyze the operational effectiveness of the roundabout by the change of pedestrian traffic volume. In pursuing the above, this study gave particular emphasis to designing a network of roundabout, developing some scenarios for analysis including both entering traffic volume and pedestrians volume, and comparatively analyzing the average controlled delay time per vehicle. In this study, VISSIM model was used as a tool for traffic simulation. The main results are as follows. First, as a result of analyzing a traffic delay based on the pedestrian traffic volume, pedestrian traffic volume was analyzed to have a great impact on the roundabout operation. Second, the more pedestrian traffic volume were evaluated to indicate the more traffic delay. When the entering volumes with 1,000persons/hour (pedestrian volume) were more than 800pcph in the single-lane and 1,600pcph in the double-lane roundabout, the operational efficiencies of signalized intersections were evaluated to be better than those of roundabouts.

Key words : Pedestrian traffic volume, roundabout, VISSIM, average delay time per vehicle, traffic simulation

* 주저자 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 연구원
 ** 공저자 : 충북대학교 도시공학과 석사과정
 *** 공저자 및 교신저자 : 충북대학교 도시공학과 교수
 † 논문접수일 : 2010년 7월 28일
 † 논문심사일 : 2011년 10월 28일
 † 게재확정일 : 2011년 11월 3일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 환경에 대한 중요성이 크게 대두되고 있으며, 우리나라 역시 ‘저탄소 녹색성장’이라는 구호 아래 많은 분야에서 환경친화적인 정책 및 기술들이 연구되고 있다. 그 중 교통 분야에서는 일반교차로에 비해서 탄소저감 효과를 가지는 회전교차로의 도입 및 설치를 계획하고 있다. 국토해양부에서는 회전교차로 도입 시 신호대기 시간이 평균 30% 감소하며, 우리나라 전체 교차로의 10%(5,662개)를 회전교차로로 전환할 경우 연료절감 및 이산화탄소 배출감소를 통해 연간 약 2조 439억원의 비용을 절감할 수 있을 것으로 모의 실험한 바 있다.

현대식 회전교차로는 1970년대 영국에서 채택된 회전교차로(rotary)의 운영방식을 개량하여 개발된 것으로서, 장점으로는 신호등의 황색·녹색시간동안 발생하는 손실시간이 없기 때문에 교차로 내 지체가 감소되며, 차량의 정지와 출발횟수를 줄임으로서 연료소비, 소음과 대기가스 배출량도 적은 것으로 알려져 있다. 이렇게 친환경적이며, 지체감소 효과를 가지는 회전교차로는 유럽과 미국, 호주 등에서 지속적으로 설치되고 있으며, 일반교차로 또한 회전교차로로 많이 전환되고 있는 실정이다.

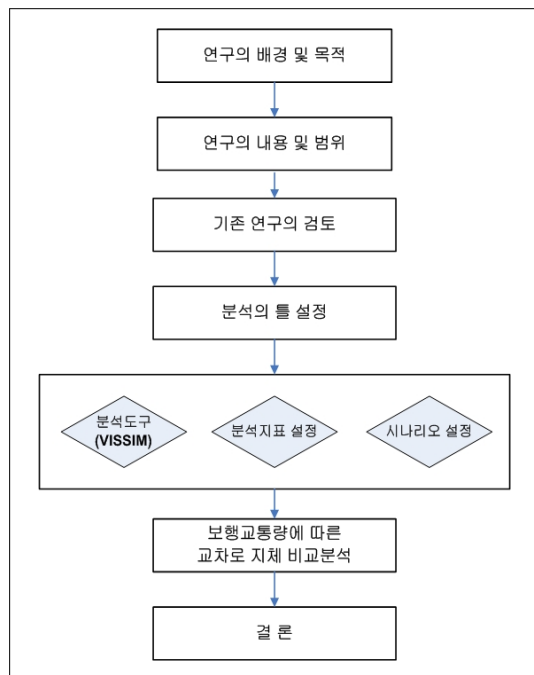
이에 본 연구는 앞으로 설치·운영되어질 회전교차로에 대하여 분석하고자 한다. 현재 국내에서는 회전교차로에 대한 기초연구가 점차 진행되고 있는 실정이다. 그러나 교통량 변화에 따른 연구가 많았으나, 보행교통량에 따른 운영효과를 분석한 연구는 없었다. 일반적으로 회전교차로는 비신호로 운영되기 때문에 보행교통량에 따라 운영효율에 많은 영향을 받는다. 국내 회전교차로 설계지침(잠정)에서는 회전교차로 설치기준에 유형별로 최대 일교통량 기준을 제시하고 있지만, 보행교통량에 대한 기준은 없기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 보행교통량에 따라 회전교차로의 운영효과가 어떻게 변화되는지를 알아보고, 신호교차로와 비교·분석하는데 있다. 본 연구의

결과는 회전교차로의 설치·운영에 있어서 보행교통량에 대한 기준을 마련하는데 도움을 줄 수 있을 것이라 판단된다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 미시적 교통시뮬레이션인 VISSIM을 이용하여, 평면교차로 설계지침(2004)에서 제시한 4지 신호교차로와 회전교차로를 대상으로 분석한다.

연구의 진행은 다음과 같다. 첫째, 회전교차로에 대한 기존연구들을 통하여, 기하구조, 일반적 특성, 도입 효과 및 필요성을 알아보고, 교차로 분석에 사용된 시뮬레이션에 대하여 파악한다. 둘째, 대상교차로에 대한 기하구조를 설계하고, 보행자를 고려한 분석 시나리오를 설정한다. 셋째, 설계된 교차로와 분석 시나리오를 VISSIM을 이용하여 분석하고, 이를 비교·평가한다. 넷째, 보행교통량이 회전교차로의 운영효과에 미치는 영향을 분석하고, 마지막으로 연구의 내용을 요약하고 향후 연구과제를 제시한다.



〈그림 1〉 연구의 수행과정
〈Fig. 1〉 Flow chart of this study

II. 기존 연구의 검토

1. 국내·외 연구검토

회전교차로에 관한 연구는 크게 2가지로 구분할 수 있다. 하나는 회전교차로의 안전성, 지체 및 용량 등의 운영형태 개선효과를 분석하는 사례연구와 공학적인 접근을 통한 지체도 산정, 용량분석 등과 같은 모형개발 연구이다.

전우훈·도철웅(2003)은 회전교차로에 대한 진입 용량 모형의 개발과 교통량에 관한 증거를 마련하였다. 분석결과로는 진입용량에 크게 영향을 주는 도로 조건은 중앙 섬과 회전차로 폭으로 분석되었다[1].

예수영(2003)은 제주대학교 앞 회전교차로 사례를 통해 분석한 결과, 회전교차로가 신호교차로로 운영하는 경우보다 시간당 차량지체가 79.33% 감소하는 것으로 분석하였으며, 차후 10%의 교통량이 더 증가하더라도 회전교차로의 지체가 신호교차로에 비해 적을 것으로 분석하였다[2].

박병호·송대섭(2003)은 회전교차로는 재래식 회전교차로와 비교하여 더 짧은 지체, 증가된 용량, 개선된 안정성과 심미성 등의 장점을 가지고 있어, 교차로 계획에서의 회전교차로 도입에 관한 고려가 필요하다고 밝히고 있다[3]. 또한 박병호·정용일(2005)은 SIDRA를 통한 회전교차로의 분석을 통하여 회전교차로의 운영효과가 교통량 및 회전교통류의 영향을 받는 것으로 분석하였고, 진입교통량이 동일한 경우 직진 및 방향별 회전교통량이 균등한 경우에 회전교차로의 운영효과가 우수한 것으로 분석하였다[4].

Persaud(2001)는 정지신호제어와 교통신호제어로 운영되던 교차로를 현대식 회전교차로로 전환했을 때의 자동차 사고변화를 EB방법을 통하여 비교 평가하였다. 분석 결과, 회전교차로 전환시 사고감소 비율이 상당히 높아지는 것으로 분석되었다[5].

Vlahos(2008)는 전방향 정지제어 교차로를 회전교차로 및 신호교차로로 전환하기 위한 근거를 마련하기 위하여, 매릴랜드 주와 델라웨어 주의 전방향정지제어 교차로를 조사한 후, 이를 SIDRA를 통하여 분석하였다. 비교분석 결과, 대상지의 전방향정

지제어 교차로들은 회전 및 신호교차로로 전환할 때 더 좋은 운영효율을 보이는 것으로 분석되었다[6].

Isebrands(2009)는 미국의 5개주에 위치한 고속주행 회전교차로에 대하여 설치 전·후 사고 자료를 조사하여 분석하였다. 분석결과, 고속주행 교차로를 회전교차로로 전환시 평균 교차로 사고율은 67%, 그리고 부상사고율은 89%가 감소하는 것으로 나타났다. 그는 이를 통하여 사고가 빈번히 발생하는 교차로를 회전교차로로 점차 전환해야 한다고 주장하였다[7].

2. 연구의 차별성

본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 기존 연구들은 회전교차로에 대한 지체 및 용량을 분석함에 있어서 차량만을 고려하여 운영효과를 분석하였으나, 본 연구에서는 차량 및 보행교통량까지 고려하여 분석을 실시하였다. 둘째, 기존의 회전교차로 연구에서 많이 사용되었던 aaSIDRA는 보행교통량을 입력할 수 없지만, VISSIM은 횡단보도 네트워크를 따로 구축하여 보행교통량을 추가로 입력할 수 있기 때문에 본 연구에서 VISSIM을 활용하였다는 점에도 연구의 차별성이 있다.

III. 분석틀의 설정

1. 교통 시뮬레이션(VISSIM)

독립교차로로 운영되는 회전교차로를 위시한 여러 형태의 교차로 운영효과 분석을 위해서는 분석 목적과 분석대상에 준하는 분석 프로그램이 우선 선택되어야 한다. 회전교차로의 운영효과 분석에서 주로 사용되어지는 프로그램은 aaSIDRA, ARCADY, VISSIM 등이 있다. 본 분석에서 사용되어진 VISSIM은 노드를 필요로 하지 않아 모형 사용자가 교통 운영이나 교차로에서의 교통류의 통행방향을 제어하기 더 용의하며, 차로별 특성을 고려한 특성차로 제어가 가능하다. 또한 미시적이며, 운전자 행태를 기초로 만들어진 프로그램으로서 도시부 및 지방부 도로의 다양한 형태의 교통특성을 사실적으로 분석하고 시

각적인 표현이 용이하다는 장점을 가지고 있다.

2. 네트워크 구축 및 파라메타 설정

평면교차로 설계지침(2004)에서 제시된 회전교차로와 신호교차로를 VISSIM을 통하여 구현하였다. 회전교차로는 지방지역 4지 1·2차로 회전교차로를 중심으로 구축하였으며, 우회전 차량으로 인한 지체를 감소시키기 위하여 우회전 도류화가 이루어진 1·2차로 신호교차로를 구축하였다. 진입설계속도는 40km/h, 회전차로속도는 25km/h로 설정하였다. 진입교통량의 방향비는 직진(60%), 좌·우회전(각각 20%)으로 설정하였으며, 중차량비는 5%로 가정하였다. 우선규칙을 통해 회전교통량에 우선권을 설정하였으며, 수락간격은 3초 차간간격은 5m를 적용하였다. 보행교통량의 Behavior type을 Footpath(no interaction)으로 설정하여 실제 보행자의 행동으로 모사하였다. 또한 신호교차로의 신호방법은 동시신호를 가정하였으며, TRANSIT-7F 프로그램을 이용하여 진입교통량별로 90~150초 사이의 최적신호주기를 구하여 적용하였다. 신호주기의 최적화가 진행됨에 따라 접근로별로 최적화된 신호시간을 적용하였으며, 적용된 최적신호주기는 <표 1>과 같다.

<표 1> 신호교차로 최적신호주기

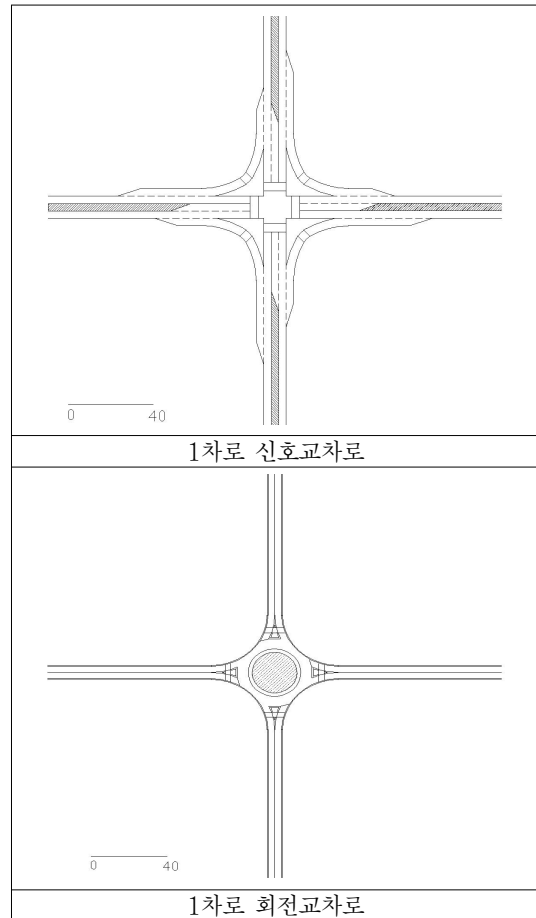
<Table 1> Optimal signal cycle of intersection

진입교통량 (pcph)	4지 1차로 신호주기(sec)	4지 2차로 신호주기(sec)
400	90	90
800	90	90
1,200	90	90
1,600	110	90
2,000	145	90
2,400	150	90
2,800	150	90
3,200	150	90
3,600	150	110
4,000	150	125
4,400	150	145
4,800	150	145
5,200	150	150
5,600	150	150
6,000	150	150

3. 분석지표의 선정

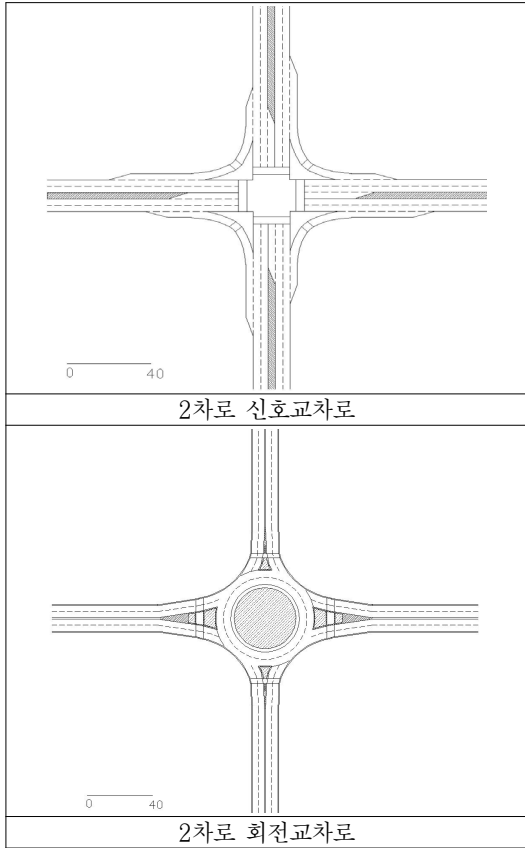
도로용량편람(2001)에서는 신호교차로와 비신호교차로에 대한 운영효율분석 모형을 제시하고 있다. 신호교차로의 경우, 교통량, 신호운영 및 기하구조를 토대로 운영분석을 실시하여 서비스 수준을 결정한다. 이때 서비스수준의 평가기준을 차량당 평균제어지체를 이용하여, 이 지체의 크기에 따라 서비스 수준을 분석한다.

아직 회전교차로에 대한 운영효율분석 모형은 우리나라에서는 제시되어 있지 않은 바, 신호교차로와 비신호교차로의 평가지표인 차량당 평균제어지체를 통하여 교차로간의 운영효과를 비교·분석한다.



<그림 2> 1차로 교차로 기하구조

<Fig. 2> Geometric Structures of 1-lane intersection



〈그림 3〉 2차로 교차로로 기하구조
 〈Fig. 3〉 Geometric structures of 2-lane intersection

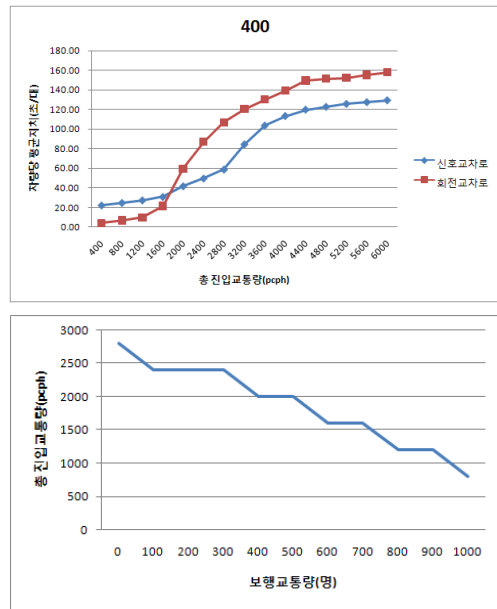
4. 분석 시나리오 설정

비교분석을 위해서는 잘 설정된 분석 시나리오가 필요하다. 본 연구에서는 보행교통량이 회전교차로와 신호교차로에서 발생시키는 지체를 비교하기 위하여, 교통량에 따른 분석 시나리오를 설정하였다. 보행교통량은 양방향(1개 횡단보도 기준)으로 0~1,000인/시(100인/시 간격), 총 진입교통량은 400~6,000pcph(400pcph 간격)까지 교통량이 증가하는 시나리오를 작성하였다. 분석시나리오는 교차로유형 4개(그림 2 참조), 보행교통량 11개, 진입교통량 15개로 구성되어 총 660개(4×11×15 = 660)의 시나리오를 분석하였다. 시뮬레이션의 오차를 최소화 하기위해 총 30회 반복 실행한 결과 값의 평균값을 사용하였다.

IV. 시나리오별 분석 및 평가

1. 4지 1차로 교차로

VISSIM에서 1차로 회전교차로와 신호교차로 네트워크를 구축하고, 보행교통량과 진입교통량에 따른 시나리오를 적용하여 시뮬레이션을 한 결과는 표 2와 같다. 기존에 연구된 바와 같이, 일정 수준의 진입교통량에서는 회전교차로가 신호교차로에 비해서 좋은 운영 효율을 가지는 것으로 분석되었다. 그러나 신호교차로는 보행교통량과는 관계없이 일정한 수준의 제어지체를 가지는 것으로 분석되었으나, 회전교차로의 경우 보행교통량이 지체에 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다. 즉 보행교통량이 점차 증가할수록 회전교차로의 평균제어지체는 점차 증가하면서, 약 1,000인/시의 보행교통량이 진입할 때는 큰 폭으로 지체가 증가하여 운영효율이 크게 떨어지는 것으로 분석되었다. 이는 신호에 의해 보행자 횡단을 시도하는 신호교차로에 비해, 확률적 횡단을 하는 회전교차로의 보행교통량은



〈그림 4〉 접근 1차로 회전교차로와 신호교차로의 지체 비교
 〈Fig. 4〉 Comparison of between 1-lane roundabout and signalized intersection delay time

〈표 2〉 접근 1차로 교차로 시뮬레이션 결과
 〈Table 2〉 Simulation results of 1-lane intersection

(단위 : pcph, 인, 초/대)

진입 교통량	신호 교차로	회전교차로					
		보행자 0	보행자 200	보행자 400	보행자 600	보행자 800	보행자 1000
400	29.92	0.60	2.67	4.61	7.00	10.35	18.57
800	22.06	0.83	2.51	5.28	9.82	12.88	20.42
1,200	22.78	1.81	4.08	6.67	11.19	15.91	21.34
1,600	23.81	2.76	5.87	8.22	11.27	18.37	30.15
2,000	23.35	4.16	7.58	11.00	15.87	20.52	40.05
2,400	23.50	5.35	8.86	13.59	21.56	29.05	49.89
2,800	25.65	7.44	11.13	23.52	25.46	44.66	70.78
3,200	26.25	10.78	14.98	20.15	38.02	62.06	93.22
3,600	31.30	16.41	22.16	38.38	53.52	93.92	118.66
4,000	35.12	26.66	37.02	50.49	71.28	97.24	137.20
4,400	42.52	45.84	54.38	68.31	97.20	125.27	150.51
4,800	48.90	66.65	76.65	81.03	105.15	133.30	163.45
5,200	61.14	82.09	92.63	100.06	120.10	150.01	177.06
5,600	70.81	98.07	106.53	114.45	132.53	162.02	184.52
6,000	88.75	109.27	114.98	122.74	143.02	165.50	194.01

차량의 속도 및 정지에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. <그림 4>의 상단 그래프는 보행교통량이 400인/시일 경우 신호교차로와 회전교차로의 총 진입교통량에 대한 차량 당 평균제어지체를 나타낸다. 진입교통량이 약 2,000pcph 이하의 경우 회전교차로가, 그 이상인 경우엔 신호교차로가 효과적임을 표현하고 있다. 즉, 보행교통량이 400인/시일 때 총 진입교통량이 2,000pcph 이상이면 회전교차로 보다 신호교차로로 운영해야 함을 이 연구에서는 예시하고 있다.

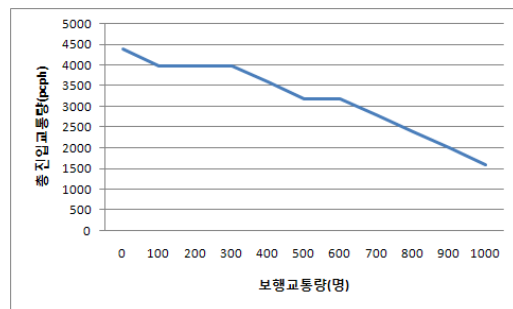
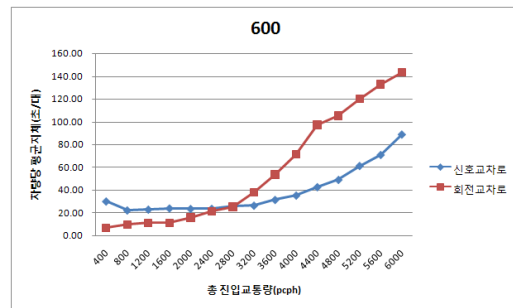
<그림 4>의 하단 그래프는 보행교통량의 변화에 따라 회전교차로에서 신호교차로로 전환되어야 하는 총 진입교통량을 나타낸다.

2. 4지 2차로 교차로

4지 2차로 회전교차로와 신호교차로의 운영효과를 조사하여 비교 분석한 결과는 표 3과 같다.

분석결과, 접근 1차로 교차로와 마찬가지로 낮은 보행교통량을 가지는 경우, 회전교차로가 더 적은 제어지체를 가지는 것으로 분석되었다. 보행교통량이 없을 경우 총 진입교통량이 4,400pcph 이상에서 신호교차로가 회전교차로보다 운영효율

이 좋은 것으로 분석되었으며, 보행교통량이 증가할수록 지체가 증가하여 보행교통량이 1,000인/시에는 총 진입교통량 1,600pcph에서 신호교차로가



〈그림 5〉 접근 2차로 회전교차로와 신호교차로의 지체 비교
 〈Fig. 5〉 Comparison of between 2-lane roundabout and signalized intersection delay time

회전교차로보다 운영효율이 좋은 것으로 나타났다. 또한 전술한 바와 같이, 보행교통량과 진입교통량에 따른 교차로의 운영효율 비교를 통하여, 회전교차로에서 신호교차로로 전환되어야 하는 진입교통량이 도출되었다.

<그림 5>는 보행교통량에 따라 회전교차로에서 신호교차로로 전환되어야 하는 총 진입교통량을 그래프로 표현한 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 보행교통량에 따른 지체를 고려하여 회전교차로와 신호교차로의 운영효과를 비교 분석하였다. 연구의 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 보행교통량에 근거하여 지체를 분석한 결과, 회전교차로에서 보행교통량이 1,000인/시 에 가장 큰 폭으로 지체가 증가하여 보행교통량이 회전교차로의 운영에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 신호교차로와는 달리 회전교차로에서는 확률적 횡단을 하기 때문인 것으로 판단된다. 둘째, 보행교통량이 증가할수록 회전교차로의 지체도 증가하여, 보행교통량 1,000인/시 일 때 1차로 회전교차로에서는 총 진입교통량 800pcph, 2차로 회전교차로에서는 1,600pcph 이상 진입 시 신호교차로가 회전교차로보다 운영효율이 높게 평가되었다.

본 연구는 보행교통량의 변화에 따른 회전교차로의 운영효과를 VISSIM으로만 분석하였기 때문에 운전자 및 보행자의 행태를 고려하지 못한 한계점을 가지고 있다. 향후 연구과제로는 보행자의 이동 패턴, 다양한 신호현시 및 주기에 따른 비교분석을 실시하고, 기하구조 변화에 따른 회전교차로의 운영효과가 분석되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 전우훈·도철웅, “Roundabout의 용량분석,” *대한교통학회지*, 제21권, 제3호, pp.59-69, 2003.
- [2] 예수영, “라운드어바웃(Roundabout) 설치 방안 연구,” 명지대학교 석사논문, 2003.
- [3] 박병호·송대섭, “교차로계획에서 현대식 회전교차로(Modern Roundabout)의 도입 타당성,” *건설기술논문집*, 제22권, 제2호, pp.139-151, 2003.
- [4] 박병호·정용일, “SIDRA를 이용한 4지 1차로 현대식 회전교차로의 효과 평가,” *한국지역개발학회지*, 제17권, 제2호, pp.89-106, 2005.
- [5] Bhagwnat N. Persaud, “Observation Before-After Study of the Safety Effect of U.S. Roundabout Conversions Using the Empirical Bayes Method,” *2001 TRB Annual Meeting*, 2001.
- [6] Evbokia Vlahos, “Evaluating Conversion of All-Way Stop-Controlled Intersection into Roundabout,” *TRB 2008 Annual Meeting*, 2008.
- [7] Hillary Isebrands, “Crash Analysis of Roundabout at High-speed Rural Intersection,” *TRB 2009 Annual Meeting*, 2009.

저자소개



인 병 철 (In, Byung-Chul)

2007년 2월 : 충북대학교 도시공학과(공학사)
2010년 2월 : 충북대학교 도시공학과(공학석사)
2010년 2월 ~ 현 재 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실 연구원



박 민 규 (Park, Min-Kyu)

2011년 2월 : 충북대학교 도시공학과(공학사)
2011년 2월 ~ 현 재 : 충북대학교 도시공학과 석사과정



박 병 호 (Park, Byung-Ho)

1976년 7월 ~ 1981년 6월 : KAIST/RDRI 연구원
1981년 6월 ~ 1983년 8월 : 국토연구원 연구원
1987년 5월 : 미국 펜실베이니아대학 도시 및 지역계획학 박사
1987년 7월 ~ 1990년 2월 : 한국교통연구원 철도항공연구실장
1990년 2월 ~ : 충북대학교 도시공학과 교수
2002년 4월 ~ 2003년 1월 : 충북대학교 교육연구처장