제주지역 다지교차로의 회전교차로 교통시스템 변환에 따른 효과분석

Effectiveness Analysis of Transforming Many-Legs Type Intersection into Roundabout in Jeju

이동원* · 고상익** · 이동욱***

Lee, Dong Weon · Ko, Sang Ick · Lee, Dong Wook

Abstract

Roundabout is an intersection that allows vehicles to pass through the intersection by circulating the circular traffic island at the center of the intersection. In this study, a comparative analysis was conducted on roundabout at five locations in order to deduce the operational result and financial effect of roundabout and signal intersection. As for the operational result, it was found that roundabout showed improvement effect in the average delay per vehicle compared to that of signal intersection by minimum of 65.6% and maximum of 91.77%. It was found that roundabout showed financial cost-saving effect in the traffic congestion cost compared to that of signal operation by minimum of 58.59% and maximum of 81.69% per year. It can be known from these analysis results that roundabout has significant operational effects under certain amount of traffic volume by allowing vehicles to pass through the intersection in a continuous way without much waiting time and stoppage from signal control.

Keywords : many-legs type intersection, roundabout, traffic congestion cost, effectiveness analysis

요 지

회전교차로는 평면교차로의 일종으로 교차로 중앙에 원형교통섬을 두고 교차로를 통과하는 자동차가 원형교통섬을 우회하도록 하는 교차로 형식이다. 본 연구에서는 신호교차로와 회전교차로의 운영 및 경제적 효과를 분석하기 위해서 제주지역의 5개 교차로를 중심으로 회전교차로 설치에 따른 비교 분석을 실시하였다. 분석 결과, 차량평균지체 측면에서 신호교차로에 비해 회전교차로가 65.6%에서 91.77%의 개선효과가 있는 것으로 분석되었다. 차량운행비용과 시간가치비용을 종합한 교통혼잡비용의 효과를 분석한 결과, 연간 58.59%(D intersection)에서 81.69%(B intersection)의 비용절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이를 통해 제주지역의 경우 신호교차로에 비해서 회전교차로가 운영 효과가 뛰어난 것으로 조사되었다.

핵심용어 : 다지교차로, 회전교차로, 교통혼잡비용, 효과분석

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 정부에서는 경찰청, 행정안전부, 국토해양부, 국가경쟁력강화위원회가 함께 마련한 녹색교통시스템 정착을 위한 ‘교통운영체계 선진화 방안’의 일환으로 교차로를 신설하거나 개량할 경우 소통 및 전력 등 에너지 절감효과가 높은 회전교차로 설치를 확대한다는 정책을 발표하였다. 이는 빈번한 교통사고, 법규 위반의 일상화, 온실가스 다량 배출, 그리고 시민의 인내심을 넘어서는 신호시스템 등의 문제점을 개선하기 위함이다(김도한 외, 2009).

회전교차로는 일반적으로 신호 및 비신호의 교차로에 비해

자동차간 혹은 자동차와 보행자간의 상충 횟수가 적고, 교차로에 진입되는 시점에 감속 운행하게 되며, 교차로 통과시 보편적으로 유사한 속도로 주행하기 때문에 일반적인 교차로보다 안정성이 높다. 또한 신호대기시간 및 지체에 대한 시간이 줄어들어 교통체계의 감소에 효과적이다.

최근 제주지역의 교통현황을 살펴보면 신호교차로에서의 불필요한 신호대기시간으로 인한 신호위반 사례가 빈번하고 그에 따른 교통사고가 많이 발생하고 있을 뿐만 아니라 교통체증을 유발하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이러한 신호교차로의 문제점을 해결할 뿐만 아니라 국가 정책에 편승하기 위해서, 최근 제주지역에서는 회전교차로 설치가 점진적으로 이루어지고 있다.

*원광대학교 경찰행정학부 교수 · 사회학박사 (E-mail : ldw1216@wonkwang.ac.kr)

**정회원 · 제주시청 · 공학석사 (E-mail : nexus65@hanmail.net)

***정회원 · 교신저자 · 제주대학교 토목공학과(해양환경연구소) 부교수 · 공학박사 (E-mail : dwlee@jeju.ac.kr)

본 연구에서는 최근 들어 제주지역에서 도입이 이루어지고 있는 회전교차로에 대한 효과를 분석하고자 하며, 신호교차로와 회전교차로의 운영 및 경제적 효과를 분석하기 위해서 제주지역의 5개 교차로를 중심으로 회전교차로 설치에 따른 비교 분석을 실시하고자 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 다양한 교차로의 운영효과 분석 중 평균속도, 지체시간 및 교통 혼잡비용 등을 기준으로 상대적 손실을 계량화함으로써, 다지교차로의 회전교차로 변환에 따른 효과를 비교 분석하고자 하며 연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 회전교차로의 일반적 유형과 특성 등을 문헌을 통해 정리하고, 기존의 연구동향에 대해 고찰한다. 둘째, 회전교차로의 국내외 사례에 대하여 고찰하고, 국가에서 추진하고 있는 녹색 교통을 위한 회전교차로의 정책에 대해 알아본다. 셋째, 운영효과의 분석을 위해 본 연구에 적합한 분석 프로그램, 분석방법, 분석대상 교차로를 선정하고, 다지교차로와 회전교차로의 두 시스템에 대한 분석지표를 설정한다. 넷째, 제주지역 내 5개의 교차로(설치완료 1개 교차로와 설치 계획 중인 4개 교차로)에 대하여 VISSIM을 활용하여 개선 전·후의 통행속도, 지체시간 및 평균속도, 지체시간 등을 도출하고, 신호운영 교차로와 회전교차로, 두 운영시스템에 대한 운영 효율 및 경제적 효과에 대하여 비교분석하고자 한다. 본 연구의 수행절차 및 방법은 그림 1과 같다.

그림 1. 연구의 흐름도

2. 기존 연구 고찰

회전교차로와 관련된 기존의 연구는 회전교차로 도입에 따른 정책적 고려사항, 회전교차로의 설계, 안전성, 효율성 측면에서 이루어져 왔다.

전우훈(2000)은 국내에서는 신호교차로가 도시부와 교외지역에서 널리 사용되고 있으나 각 방향에서의 교통량이 적을 때 회전교차로가 신호교차로보다 지체측면에서 우수하다는 것이 보고되고 있는 사항을 기반으로 연구를 수행하였다. 회

전교차로 진입용량 모형 개발과 지체에 대한 준거를 마련하기 위해, 4개의 회전교차로에 대해서 회전교통유율과 기하구조 요소(중앙섬 직경, 진입차로 폭, 회전 차로 폭)에 대해서 수집 분석하였다.

박준(2010)은 회전교차로의 설계, 안전성, 효율성에 대한 연구를 수행하였다. 첫째, 회전교차로의 설치시 활용할 수 있는 회전교차로의 유형 및 설계기준에 대하여 연구를 수행하여, 회전교차로가 위치한 도로의 기능 및 등급에 따라 대표적인 회전교차로의 제원을 제시하였고, 둘째, 회전교차로의 기하구조와 연계한 회전교차로의 사고 유형 분석을 통하여 회전교차로의 사고와 유의한 변수들을 도출하고, 이를 회전교차로 사고 예측모형으로 연계함으로써 회전교차로의 안전성의 관계에 대한 연구를 수행하였다. 마지막으로 각 나라 교통적인 특성을 포함하는 용량분석모형에 대해 국내 현실에 가장 적합한 분석 모형을 선정하고, 국내의 현실을 인식하여 향후 회전교차로 용량모형 개발 방향을 제시하였다.

인병철(2010)은 교통시뮬레이션 프로그램인 VISSIM을 이용하여 횡단보도 내 보행자를 고려한 회전교차로와 신호교차로의 분석결과를 비교하여 회전교차로의 운영효과를 평가하였다. 6개 유형의 회전교차로와 신호교차로에 대해서 보행교통량 및 진입교통량을 증가시키는 시나리오를 분석하여, 보행교통량에 따른 차량지체로 인한 회전교차로의 운영효율을 분석하였다.

예수영(2003)은 중소도시에서의 회전교차로 적용 방법에 대해서 연구하였다. 회전교차로 설계 및 운영의 문제점에 대해 고찰하였고, 외국에서 적용되고 있는 설계기준을 바탕으로 AUTOTURN 4.0 프로그램을 이용하여 회전교차로를 설계하였고, SIDRA 1.04 프로그램을 이용하여 신호교차로와의 운영상태 분석을 비교하여 회전교차로의 적용 가능성을 제시하였다.

본 연구에서는 제주지역에서의 실제 교통량 데이터를 기반으로 하여 신호교차로의 효율성과 회전교차로 변환에 따른 효율성을 비교 분석하고자 한다. 특히 회전교차로 변환 전후에 대한 평균속도, 차량당 평균지체시간, 총통행시간 등의 분석지표를 통해 교통혼잡비용(차량운행비용과 시간가치비용)을 도출함으로써 비교 분석을 실시하고자 한다.

3. 회전교차로 개념 고찰

3.1 회전교차로 운영 원리

회전교차로(Roundabout)는 교차로 중앙에 원형교통섬을 두고 교차로를 통과하는 자동차가 원형교통섬을 우회하도록 하는 평면교차로의 일종이다. 표 1은 회전교차로의 장·단점을 보여주고 있다. 회전교차로는 진입하는 자동차가 교차로 내 회전차로에서 주행 중인 자동차에게 양보하는 것을 기본 원리로 하므로 회전차로 내에서 혼잡이 발생하지 않는다. 또한 회전교차로는 진입하는 자동차가 회전차로에서 주행하는 자동차들간의 간격을 이용하여 연속적으로 진입하므로, 일정 수준 교통량 범위에서는 신호제어에 의해 운영되는 신호교차로에 비해 대기시간이 감소되고 용량이 증대되며, 회전교차로는 상충 횟수가 적고 진입속도를 낮게 설계하여 교통사고 발생건수와 피해정도가 적다. 일반적으로 회전교차로의

표 1. 회전교차로의 장점 및 단점

분류	장점	단점
안전성	- 제어되지 않은 교차로에 비해 상충횟수 감소 - 양보표지가 감속주행을 유도해 사고율 감소 - 기하구조로 인한 저속운행으로 사고감소	- 교차로가 일반 운전자에게 익숙하지 않아, 설치초기 사고 발생이 증가하는 시기 발생 - 응급차량에 대한 통행우선권 부여 곤란
용량	- 양보표지로 인한 보다 많은 수락간격 - 신호교차로에서의 신호기의 녹색·황색 신호에 기인되는 손실시간이 없어 보다 높은 용량	- 중합신호망 채택지역에서 기타 신호 교차로에 용량초과 야기 - 설계용량보다 높은 교통량이 정기적으로 발생하는 교차로의 경우엔 효과 감소
지체	- 신호교차로에 비해 동일한 교통량에서 총 지체 감소(단, 서비스수준이 높은 경우 제외) - 비점두시간, 신호교차로에서 신호에 의한 불필요한 차량의 정지지체 감소	- 운전자들의 직선주행을 변환해야하는 기하구조에 대한 반감 - 대기행렬이 많아지면 진입하는 운전자는 보다 좁은 차간간격을 유지하려고 할 것이고, 타 교통류의 지체 및 사고 유발
비용	- 신호교차로의 유지를 위해 전기, 루프 관리, 신호등 비용 및 관리 등의 많은 비용이 소비되나, - 회전교차로는 조명과 표지관리 교체 정도의 유지비만 소모	- 경우에 따라 넓은 부지확보로 인한 비용증가 요인이 많음 - 지역에 따라 보다 많은 조명시설이 필요함에 따라 공사비 증가 가능성
보행자/자전거	- 분리교통섬이 보행자 보행공간으로 사용 가능 - 저속운행 또는 적은 교통량 하에서 자전거 이용자들의 안전성 증대	- 분리교통섬이 장애인들의 이동에 불편 - 복잡한 구조로 인해 자전거 이용자의 불편함 발생 - 보행자 및 자전거의 통행거리 증가 - 통행자가 교차로 통과 가능 간격을 찾기 위한 지체를 유발

출처: Thaweesak Taekratok(1998)

지체시간은 신호교차로의 신호대기시간보다 짧다. 특히 네 갈래 교차로를 신호로 운영하는 것에 비해 지체시간이 일정 수준 이하의 교통량에서는 짧다. 그리고 상충점이 적고 진입로와 회전차로 내에서 자동차가 저속으로 운행되어 사고 위험이 적기 때문에 자동차와 보행자 모두에게 안전하다. 하지만 회전교차로가 모든 교차로를 대체하여 그 효과를 극대화할 수 있는 것은 아니다. 회전교차로를 설치 운영하기 위해서는 자동차 통행량, 보행자 통행량, 자전거 통행량, 가용면적, 주행속도, 교차도로의 기능 등을 고려하여 결정한다.

3.2 회전교차로 설치 사례

3.2.1 국내 회전교차로 운영사례(국가경쟁력강화위원회, 2009)

우리나라의 경우 도심지역을 중심으로 미국식 교통서클이 설치 운영되어 오다 '90년대부터 현대식 회전교차로가 소개되면서 간헐적으로 건설이 시작되어 2009년 기준 약 100여 개소가 운영 중에 있다. 기존의 회전교차로 운영사례를 살펴보면 교차로 진입부에 양보표지판 및 양보선이 설치되어 있지 않거나 부적절하게 설치된 사례가 많고 특히 통행우선권이 확보되지 않음에 따라 상습적인 끼어들기에 따른 관행으로 인한 교차로내의 혼잡을 야기하는 경우도 있으며, 기존 회전교차로의 기하학적 구조가 회전교차로 설계지침에 맞지 않는 사례도 있다. 그리고 회전교차로는 원활한 소통과 사고 감소 기능이 상대적으로 도시지역보다 지방지역 교차로가 유리한 측면이 많이 있으나 도시외곽 지역 및 지방지역에는 회전교차로 보급이 거의 안 되어 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제점 극복을 위한 설계지침에 맞게 기존 시설물에 대한 시설 개선과 통행 우선권 확보를 위한 관계법령의 정비 및 관련시설물 정비도 시급히 시행되어야 할 것이며 도시 외곽지역 및 지방지역에 대한 회전교차로의 확대 보급을 위한 다양한 정책이 개발 보급되어야 할 것이다.

3.2.1 국외 회전교차로 운영사례(한국교통연구원, 2010; 국가경쟁력강화위원회, 2009)

회전교차로에 대한 세계 여러 나라의 교통사고 발생측면을 살펴보면 프랑스에서는 '86년 83개소의 회전교차로에 대한 사전·사후 분석 결과 연평균 부상사고 건수는 78%가 감소하였으며, 사망자는 88%, 부상자는 82% 감소한 것으로 분석되었다. 독일의 경우에는 '96년도에 내접원 직경이 30m이하 편도 1차로인 34개소 회전교차로에 대한 사전·사후 분석 결과 사고건수는 40% 감소하고 지방지역에서 사고비용이 84% 감소하였다. 미국에서도 '97년 11개 회전교차로의 사전·사후 분석 결과, 연평균 총사고가 4.9건에서 2.4건으로 37% 감소하였으며 부상사고는 3건에서 1.5건으로 51% 감소한 것으로 분석이 되었다.

3.2.2.1 영국 운영 사례

초기의 회전교차로는 1920년 중반 일방통행가로와 회전시스템으로 영국에 도입되어, 1929년에 'Roundabout'이라는 용어로 채택되어 사용되었다. 1966년 영국에서 회전교차로가 활성화 될 수 있었던 것은 새롭게 도입된 회전차로 차량에 대한 운행 우선권, 즉 '회전차로에 진입하는 차량은 회전차량에 양보해야 한다'는 규칙과 아울러 회전차로 내로 진입하는 차량에 대해 '양보표지판'을 설치·운영하는 방안 때문이었다. 이러한 새로운 규칙에 따라 회전서클의 가장 문제시되었던 교차로 내 정체 문제를 해결하게 되었고, 이것으로 회전교차로의 용량과 안전성 모두 개선되어 현대식 회전교차로(Modern Roundabout)가 탄생하게 되었다. 영국에서는 현재 10,000개소 이상의 회전교차로가 설치되어 운영되고 있고, 최근 영국에서는 회전교차로의 활성화를 위한 안전성 향상과 자전거 이용자와 보행자를 고려한 회전교차로에 대해 주로 연구되고 있다.

3.2.2.2 프랑스 운영 사례

프랑스는 1907년 파리의 개선문광장을 교통서클 형태로 도입한 이후, '70년대 중반 이후 회전교차로를 도입하여 현재 약 30,000여개의 회전교차로가 운영 중이다. 1992년 프랑스의 서부에 위치한 Nante에서는 제1회 Roundabouts

International Conference가 열렸으며, 6,815의 Nante 시내에 667개의 회전교차로가 운영 중이고, Nante 주변의 도시에는 572개의 회전교차로가 운영 중에 있다. 현재 프랑스는 법에 의해 일반교차로 통행우선권과 별도로 회전교차로 통행우선권을 규정하고 있어 통행우선권 위반시 750유로 이하 벌금을 부여하고 있다. 프랑스의 회전교차로 적용사례를 보면, LRT, 자전거, 보행자와 공존하는 운영방식과 간선도로에 접한 도로에서의 회전교차로 등 다양한 형태의 회전교차로가 운영되고 있다.

3.2.2.3 독일 운영 사례

독일은 영국과 프랑스에 비해 비교적 늦게 회전교차로를 도입하였다. 1998년 독일에서 처음으로 발간된 지침 「Guideline for single - lane compact roundabouts」에서 진입차로가 1차로인 회전교차로에 대한 설계 기준을 제시하여 1차로 회전교차로를 중점적으로 도입하고 있고, 진입차로가 다차로인 회전교차로는 연방 교통국의 승인을 받게 하여 제한적으로 설치·운영하고 있다. 일반적으로 도시지역에서는 35m와 도시지역 외에는 45m의 최대 내접원을 가지는 회전교차로를 설치하여 운영하고 있다. 이후 독일의 도로교통연구소(FGSV)에서 2006년에 발간된 지침에서는 회전교차로를 초소형, 소형, 2차로 회전교차로와 신호등이 설치되어있는 회전교차로의 4가지유형으로 제시하고 있다.

3.2.2.4 미국 운영 사례

미국은 로터리(교통서클)의 시초 국가로, 1970년대까지는 지방부 로터리에 대한 설계지침이 있었으나 교차로 내 정체 심각 및 사고위험 등에 의해 1980년대부터는 점차 사라지게 되었다. 그러나 1990년대에 들어와 유럽에서의 좋은 운영효과가 알려지면서 회전교차로 도입에 대한 활발한 논의가 시작되었고, 2000년대에는 중앙정부가 앞장서서 설계지침을 발표하여 지속적으로 확대 설치운영하고 있다.

3.3 회전교차로 운영정책 고찰

3.3.1 교통운영체계 선진화 정책(경찰청 외, 2009; 국가경쟁력위원회, 2009)

우리나라의 교통운영체계는 빈번한 교통사고의 발생 및 교통법규 위반과 과다한 혼잡비용으로 인한 사회·경제적 손실, 온실가스 배출과다 등 많은 문제점을 내포하고 있다.

만성적인 지·정체 등으로 야기되는 교통 혼잡비용은 '07년 기준 25.8조원으로 GDP의 약 3%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다. 그리고 환경적 측면에서 교통부문이 국가 총 온실가스 배출량에서 차지하는 비율은 '05년도 기준으로 16.8%를 차지하고 있으며, 교통부문 온실가스 배출량 중 특히 자동차가 차지하는 비율은 78.8%를 차지하고 있다. 또한 교통운영, 교통안전을 확보하기 위한 지속적 제도·단속을 시행하고 있음에도 불구하고, 지속적인 교통법규 위반행태에 따른 범칙금 부과액이 1,460억 원, 과태료 부과액이 4,750억 원으로 연간 6,200억 원 수준에 이르는 등 교통신호 및 도로운영체계가 불합리하고 현실에 맞지 않다는 지적이 지속적으로 제기되는 등 많은 교통문제를 가지고 있다(조한선 외, 2007).

표 2. 회전교차로의 경제적 기대효과

사고감소 효과	지체감소 효과	에너지절감 효과	대기오염 감소효과	계
2,084억원	16,729억원	771억원	855억원	2조 439억원

출처: 국가경쟁력위원회(2009)

따라서 우리나라 전체 교차로의 10%인 5,662개소를 회전교차로로 전환할 경우 사고·지체감소, 에너지 절감 및 오염배출 감소에 따른 경제적 비용 절감효과는 표 2에서 제시하고 있듯이 연간 2조439억 원으로 분석하고 있으며 회전교차로 1개소당 경제적 비용 절감효과는 연간 약 3.6억 원에 이른다고 밝히고 있다. 이러한 경제적 효과 이외에도 교통질서 유지, 도시미관 개선과 같은 심미적 부가 효과도 발생하고 있음에 따라 회전교차로 설치에 따른 건설비용은 5,096억 원이 소요되나 이는 일부 초기의 건설비용의 증가를 감안해도 장기적으로 경제적 효과가 있는 것으로 밝히고 있다. 또한 평면교차로 설계 지침(건설교통부, 2004)에서 외국기준을 검토하여 소개하는 수준으로 회전교차로 잠정 지침을 제시한 바 있으나, 사회적인 인식부족과 회전교차로 운영 방식에 대한 국내 운전자들의 새로운 시스템에 대한 이해부족으로 아직까지 제대로 도입되지 못하였다. 그러나 최근 사고감소와 소통증진 및 저탄소 녹색교통의 활성화를 위해 효율적이고 체계적인 설치 보급을 위하여 정부에서는 2010년 12월 회전교차로 설계 지침을 마련 보급하였으며, 회전교차로의 통행우선권과 관련한 법적 제도적 장치도 마련해 나가고 있다.

3.3.2 제주특별자치도 회전교차로 운영 정책(제주특별자치도, 2009)

제주도는 지역적 특성상 외부운전자가 많지 않으나 교통사고는 오히려 심각한 수준에 있다. 교통사고 잦은 곳 192개소 및 관리지역 167개소 총 359개소를 분석한 결과 전체 사고 발생건수 1,204건 중 교차로 발생건수가 1,100건으로 91.3%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 교차로 사고의 발생 장소별로는 교차로 내 378건으로 34.2%, 접근로 377건으로 34.2%를 점유하고 있으며, 횡단보도 163건으로 14.8%, 유출부 151건으로 13.7%를 차지하고 있다. 그리고 교차로상에서 발생한 교통사고유형별 발생건수는 측면 직각 사고 320건으로 29.1%, 추돌사고 268건으로 24.3%, 보행자 사고 216건으로 19.6%, 차로변경 접촉사고 65건으로 5.9% 순으로서 이들 중 보행자사고는 횡단보도 상태에서 142건으로 보행자사고의 65.7%로 나타나고 있다. 따라서 교차로 내와 그 주변에서 전체 교통사고의 35.1%의 교통사고가 발생해 교통사고 감소를 위해서는 교차로의 근본적인 대책 마련이 요구되고 있다.

제주도의 교통사고 심각도를 살펴보면 '08년도에 자동차 1만대 당 사망자는 3.4명으로 전국 평균 2.9명보다 14.7%나 많은 것으로 나타나고 있으며, 인구 10만 명당 사망자 또한 전국평균 12.1명이나 제주도의 경우는 17.6명으로 전국적인 평균 12.1명보다 32.1%나 많은 것을 알 수 있다. 따라서 지속적인 지·정체심화와 외부차량이 많이 유입되지 않는 지리적 특성에도 불구하고 사고의 심각도는 훨씬 높은 수준이어서 시스템적으로 교차로에서 진입차량에 대한 저속운행을

표 3. 회전교차로 추진 현황 및 소요예산

구 분		2010년	2011년	2012년	계
사업량 (개소)		20	50(초소형 25개 포함)	53(초소형 25개 포함)	123(초소형 50개 포함)
사업비 (억원)	국비	40	53	57	150
	지방비		22	24	46
	계	40	75	81	196

출처 : 제주특별자치도(2009)

유도하여 교통안전 및 원활한 차량 소통과 녹색교통 조성을 위하여 회전교차로 시범설치 사업을 추진하고 있다.

제주도에서는 시범사업으로 총사업비 196억원(국비 150, 지방비 46)으로 교통안전과 차량소통이 조화된 회전교차로 설치를 추진하고 있으며, 회전교차로 설치는 2010년부터 3개년 계획으로 단계별 실시되고, 총 73개소 중 2010년 20개소, 2011년~2012년 53개소 설치 계획에 있다. 교외·농촌 지역 주요 축별 회전교차로 건설의 경우 계획기간까지 지방 지역 1차로 회전교차로 58개, 초소형 회전교차로 20개 등 총 78개설치 목표로 추진하고 있고, 편도 1차로의 중산간 순환도로를 중심으로 지방지역 1차로 회전교차로 우선 설치하며, 남북방향의 집산도로는 2단계 이후 설치하되 초소형 회전교차로 중점 설치계획을 추진하고 있다. 그리고 도시지역(인구밀집지역) 회전교차로 신설의 경우 계획기간까지 도시지역 2차로 회전교차로 5개, 초소형 회전교차로 15개, 초소형 회전교차로 30개 등 총 45개설치 목표로 추진하고 있고, 도시 외곽지역(접경지역)을 중심으로 도시지역 2차로 회전교차로 우선 설치하며, 돌출형 중앙교통섬 설치공간이 부족한 도심 인구 밀집지역에 넘어갈 수 있는 초소형 회전교차로 중점 설치계획을 추진하고 있다.

4. 회전교차로 운영 효과분석

4.1 운영효과 분석 시나리오

4.1.1 분석 시나리오

그림 2는 분석 시나리오를 도식화한 것이다. 본 연구는 신호운영 교차로와 비신호교차로의 한 형태인 회전교차로(Roundabout)의 운영성과를 비교분석하고, 그에 따른 경제적 효과를 도출하는데 그 목적이 있다. 연구의 대상은 신호운영 교차로에서 회전교차로로 운영방식을 전환한 교차로 1개소와, 전환 예정에 있는 신호운영 교차로 4개소 등 총 5개 교차로이며, 분석에는 대표적인 미시교통류 분석도구인 VISSIM을 활용한다. VISSIM 네트워크 구축은 설계도면을 기준으로 구축하며, 기타 운영특성(교통량, 통행속도 및 신호현시 등)은 현장조사를 통하여 수집한다. 한편, 분석지표는 평균운행속도, 차량 당 평균지체 및 총 통행시간 등을 선정하며, 개선 전·후 지표 값들의 변화를 비교분석한다.¹⁾ 분석 결과를 바탕으로 경제성 분석은 한국개발연구원(KDI)과 한국교통연구원(KOTI)에서 제시하고 있는 통행비용, 유류비 등

그림 2. 분석 시나리오

의 원단위를 활용한다.²⁾ 경제적 효과 분석은 분석에 필요한 자료의 입수 가능한 년도를 고려하여 2008년으로 통일하여 산정하고자 한다.

4.1.2 분석 프로그램

회전교차로의 운영효과를 나타낼 수 있는 대표적인 프로그램은 ARCADY, RODEL, aaSIDRA, KREISEL, VISSIM 등이 있다.

Traffic microsimulation model은 주어진 도로환경 내에서 개별 단위의 차량과 보행자의 주행 및 이동 행태를 모사(Simulate)함으로써 통행수요와 도로환경의 변화에 따른 영향을 미시적으로 분석하는 도구를 의미한다. Traffic microsimulation model 모형의 장점은 혼잡교통류 상황에서 대기행렬의 생성에서 소멸 과정을 동적으로 분석할 수 있으며 운전자·차량·도로·규제의 행태와 특성을 세부적으로 반영하여 함으로서 정적인 모형에 비해 현실적인 분석이 가능하다. Microsimulation model은 개별차량을 Simulation의 단위로 하여 차량추종모형(Car Following Model)과 차로변경모형(Lane Changing)모형을 기초로 결과를 도출한다는 점에서 속도 - 밀도 - 교통량의 관계식을 기초로 하는 Macrosimulation 모형 또는 Mesosimulation 모형과 구분되고, 교통류의 흐름에 따른 도로망상의 통행 상태 변화를 동적으로 분석한다는 점에서 Macrosimulation과 비교된다(최재민, 2009).

따라서 본 연구에 사용된 VISSIM은 독일의 PTV사에서 개발된 미시적 분석도구로서, 시간의 변화와 특성에 따른 도시교통 및 대중교통 운영 시뮬레이션 모델의 개발에 기초하고 있다. 또한 교통 및 대중교통 운영의 분석이 가능하고 교통공학 및 계획의 효과측도를 기본으로 교통운영상의 다양한 대안을 평가하기 편리하다. VISSIM은 교차부분 및 합류부분에서의 속도 감소에 대해 분석이 가능하고, 신호 및

1) 네트워크 분석범위는 교차로의 물리적 범위가 아닌 기능적 범위를 대상으로 통상적으로 교차로 전방 100~150m를 기준으로 설정한다.

2) 연간 운영효과 및 경제적 분석에 따른 년 평균 휴일일수 115일(주 5일 근무와 국가공휴일)을 제외한 연간 운영일수를 250일로 설정

정지표지 제어가 포함된 교차로의 설계 대안에 관해 쉽게 비교 가능하며, 회전형 교차로나 경사가 분리된 인터체인지에 관해서도 그 비교가 가능하다. 시뮬레이션을 통해 평균 지체시간, 평균 정지 차량 수, 평균속도, 총 통행거리 등의 결과 값을 얻을 수 있으며 본 연구에서는 평균속도, 차량당 평균지체시간, 총 통행시간 등을 분석지표로 설정하였다.

4.1.3 교통혼잡비용의 구성³⁾

교통혼잡비용은 일반적으로 차량운행비용과 시간가치비용으로 대별할 수 있다. 차량운행비용은 차량의 운행과 감가상각에 관련된 비용을 통칭한 개념이며, 시간가치비용은 교통혼잡으로 인해 발생하는 손실시간의 가치를 나타낸 개념이다.

4.1.3.1 고정비

인건비는 운전자의 1인당 월평균 급여로서, ‘2008 노동통계연감(노동부, 2009)’과 한국 운수산업연구원의 2008년 자료에 근거하여 전 산업 월평균 급여 및 근로시간 자료를 토대로 추정하였다.

차종별 시간당 감가상각비는 차종별 기준차량을 설정하고, 이에 대해 일반적으로 사용되는 정액법(감가상각 대상액, 내용연수, 월평균 가동시간)을 적용하여 추정하였다. 월평균 가동시간은 차종별 운전기사의 1인당 근로시간에 차종별 대당 운전기사 소요인원을 감안한 시간으로 택시 1.86인, 시내버스 1.92인, 시외버스 1.37인, 고속버스 1.55인, 화물차 1.15인을 적용하였으며, 업무용 승용차 및 소형 버스는 추가 소요인원이 없는 것으로 가정하였다.

출처: 조한선 외(2010)

그림 3. 교통혼잡비용의 구성 요소

보험료는 차종, 연식, 운전자 연령, 경력 등 매우 복잡한 요소를 고려해야 하나, 기준 차종은 신차이고, 운전자의 연령은 26세 이상이며, 경력 5년의 무사고인 운전자에 대한 보험요율을 단순화하여 적용하였다. 또한 보험은 책임보험과 종합보험에 가입한 것으로 간주하였고, 자차보험은 가입하지 않은 것으로 설정하여 계산하였는데, 추정방식은 연간 보험료 ÷ 12개월 ÷ 차종별 월평균 가동시간으로 추정하였다.

제세공과금의 경우, 매년 부과되는 면허세(택시 한정)와 2분기별 자동차세 및 환경개선부담금 등의 2008년 부담분을 적용하였다. 차종별 시간당 제세공과금의 추정방법은 보험료

구 분		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
인건비*	승용차	8,658	9,758	11,187	11,965	12,324	12,927	14,242	15,804
	택시	8,848	9,313	10,465	10,723	11,815	12,388	13,243	15,137
	소형버스	8,658	9,758	11,187	11,965	12,324	12,927	14,242	15,804
	대형버스	13,398	8,843	9,392	10,491	11,484	11,974	12,491	12,491
	화물차	9,376	9,607	9,097	9,011	9,675	9,438	10,191	10,191
감가상각비**	승용차	577	580	608	648	782	792	805	878
	택시	471	519	569	561	707	701	729	791
	소형버스	772	802	834	982	1,043	1,287	1,333	1,332
	대형버스	2,716	2,962	2,992	3,175	3,457	3,856	3,856	3,856
	화물차	2,400	2,604	2,262	2,377	2,819	3,165	3,178	3,281
보험***	승용차	249	253	102	104	109	246	253	281
	택시	478	513	419	435	472	294	278	306
	소형버스	1,301	1,218	1,294	1,340	1,344	2,082	1,851	1,938
	대형버스	720	657	730	740	750	1,283	897	930
	화물차	524	604	567	580	642	320	350	374
제세공과금	승용차	90	84	88	88	89	91	93	98
	택시	47	47	18	18	19	19	20	21
	소형버스	30	30	43	44	45	46	48	51
	대형버스	39	39	47	47	50	50	52	52
	화물차	47	48	49	50	54	52	55	56

출처: *노동부(2009), **현대자동차(2008), ***보험개발원(2008)

3) 교통혼잡비용의 구성과 기초자료는 조한선 외(2010)의 자료를 참고하였으며, 본 연구에서는 간략한 절차를 언급하고자 함

표 5. 차종별 속도 - 연료 소비모형

차종 \ 독립변수	상수	SPEED ¹	SPEED ²	R ²
승용차	11.684	1,183.908	0.00469	0.993
버스	67.518	1,613.459	0.01766	0.972
트럭	90.278	1,922.822	0.01932	0.911

주: 종속변수 = 연료소비량, FUELA(litter/1,000), 독립변수 = 속도, SPEED(h)

출처: 교통개발연구원(1998)

의 추정방식과 동일한 방법을 적용하였으며, 추정방식은 「연간 제세공과금 ÷ 12개월 ÷ 차종별 월평균 가동시간」이다.

본 연구의 분석 기준 연도인 2008년을 기준으로 추정된 차량운행비 중 고정비의 추정 결과에 대한 연도별 비교는 표 4와 같다.

4.1.3.2 변동비

본 연구에서는 변동비의 계산에 있어 연료비의 변동치만을 분석대상으로 하며, 나머지 항목은 교통 혼잡에 따른 비용의 변화폭이 극히 미미하여 제외하였다. 변동비의 추정은 표 5에서 제시하고 있는 차량속도별 연료소모량 회귀식을 이용하여 교통 혼잡에 따른 차종별, 속도별 연료비의 변동비용을 추정한다. 또한 유류가격은 소비자 가격이 아니라 세금을 제외한 가격을 적용하였으며, 세금은 공공자금으로서 소비자가 정부에 지급한 금액으로 개인의 실질적인 소비로 볼 수 없어 실질가격인 세전 가격을 적용하였다.

4.1.3.3 시간가치비용

시간가치비용은 교통 혼잡에 따른 경제활동의 손실분을 의미한다. 시간가치비용과 관련된 편의의 계산은 정량화하기 힘든 다양한 변수 등을 고려해야 하므로 매우 어려운 문제이다. 따라서 계산 방식과 변수에 따라 많은 논란이 야기될 수 있다. 기획예산처에서는 「도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침」을 마련하고 시간가치에 대한 지침을 작성하여 도로건설 타당성 평가 등에 동 지침을 적용토록 하고 있다(한국개발연구원, 2001). 따라서 본 연구에서는 이를 준용하여 차종별 이용자(승용차, 버스)의 시간가치비용은 전 산업 월평균소득 등을 기준으로 하였으며 비업무통행의 시간가치는 업무통행 대비 비율을 이용하여 적용하였다(표 19 참조).

4.1.4 분석 대상 교차로

제주에서 회전교차로 설치계획에 있는 교차로는 총 50개소(3지 교차로 19개소, 4지 교차로 27개소, 5지 교차로 4개소)이다. 본 연구에서 50개소의 모든 교차로를 대상으로 분석하기에는 어려움이 있어 대표적인 교차로 5개소를 선정하였다. 2011년 2월부터 신호운영에서 회전교차로로 전환하여 운영 중에 있는 A삼거리 회전교차로와, B, C, D사거리 회전교차로, 그리고 E삼거리 교차로를 분석 대상으로 선정하였다. 5개 교차로에 대한 교차로 현황과 회전교차로 설계에 따른 설계기준 등을 모두 소개할 수 없어서, 여기에서는 A삼거리 교차로와 B사거리 교차로에 대한 현황과 회전교차로 현황을 소개한다.

표 6. A삼거리 교차로 현황

교차로유형	도로유형		주도로	부도로	
신호운영	도로등급		지방도	시·군도	
3지 교차로	설계속도		70 km	50 km	
접근로별	접근로1	접근로2	접근로3	접근로4	접근로5
교차로 접근 속도	47	54	51		
일교통량(방향별)	469	2,708	3,354		
보행 교통량	적음	적음	적음		
자전거 교통량	적음	적음	적음		
주변토지 이용현황	주거	상업	공업	기타	

4.1.4.1 A삼거리 교차로

A삼거리 교차로는 지방도 1132호선(일주도로)과 시군도가 교차하는 지점으로서 주간선도로인 일주도로를 통과하는 통과 통행량이 많고 농경지 및 마을진입로(도시부)로 이용되고 있으며 접근로의 속도가 상당히 높은 곳이다. 따라서 본교차로는 도시지역 2차로 회전교차로로 설계(설계기준자동차 : 대형차)되었으며, 우회전 별도차로 설치 및 분리교통섬을 이용한 보행자 횡단로 설치, 일주도로상에서 마을 진입을 위한 별도차로를 설치하는 것으로 설계되었다. 표 6은 A삼거리 교차로의 현황이며, 표 7은 회전교차로의 설계 현황을 보여 주고 있다.

4.1.4.2 B사거리 교차로

B사거리 교차로는 지방도 1132호선(일주도로)과 시군도가 교차하는 왕복 4차로, 4지 신호운영 교차로로서 주 도로(일주도로)에 교통량이 집중되고 주변 토지는 대부분이 주거지역으로 활용되고 있으며 전반적으로 이용차량의 통행속도가 높아 감속시설의 설치가 필요한 지점이다. 따라서 본교차로는 도시지역 2차로 회전교차로로 설계(설계기준자동차 : 대형자동차)되었으며, 회전교차로 내접원 직경은 45m, 회전차로 폭은 5.0m로 설계되었다. 또한 설계기준자동차에 부합하는 별도의 화물차 턱 설치(3.0m)가 설계에 반영되었다.

4.2 회전교차로 운영 효과분석

4.2.1 교차로별 운영분석 결과

A삼거리 교차로는 주도로인 동·서 방면 편도 2차로, 부도로인 북쪽 방면 편도 1차로가 예각으로 접속되어 있고 120초 주기로 운영되고 있던 신호운영 교차로에서 주도로 동·서 방면 접근 2차로 및 부도로 접근1차로, 내부 회전 2차로인 도시형 2차로 회전교차로로 개선이 완료되어 현재 회전교차로로 운영 중에 있다.

따라서 A삼거리 교차로 침두시 교통량 849대/시에서 개선 전 신호운영에 의한 시뮬레이션과 회전교차로 설계 값을 적용한 시뮬레이션을 분석한 결과 표 10에서 보는 바와 같이 차량 당 평균지체는 신호운영 시에는 12.73초에서 회전교차로에서는 2.73초로 78.557%가 개선되었고, 평균운행속도는 32.14km/h에서 45.15km/h로 40.484%의 통행속도가 향상되었다. 또한 총 지체시간도 2.94h에서 0.56h로 역시 90.95%, 총통행시간은 8.1h에서 6.59h로 18.64% 향상되는

표 7. A삼거리 회전교차로 설계기준

설계항목			설계값	비 고		
지역구분			도시부	- 도시부, 지방부 구분		
설계기준자동차(DS)			대형차	- 승용차, 버스, 트럭, 세미트레일러		
내접원 직경(m)			45.0	- 내접원 직경 = 중앙교통섬 직경+회전차로, 트럭 턱 폭×2		
중앙교통섬 직경(m)	순(net) 중앙교통섬 직경(m)		19.0	- 트럭 턱 있는 경우 : 중앙교통섬 직경=순(net)중앙교통섬직경+트럭 턱 폭		
	트럭턱 폭(m)		3.0	- 트럭 턱 없는 경우 : 중앙교통섬 직경 = 순(net)중앙교통섬 직경 - 순(net) 중앙교통섬 직경, 트럭 턱 폭(m)		
회전차로 수(개) 및 폭(m)	회전차로 수		2	- 회전차로수가 1개인 경우 1, 2개인 경우 2를 기재		
	회 전 차로폭	1차로 폭	5.0	- 중앙교통섬과 접해있는 차로		
		2차로 폭	5.0	- 1차로 우측 차로		
곡선반경(m)	R1		35	- 회전교차로 진입 반경		
	R2		18	- 회전차로 주행 반경		
	R3		72	- 회전교차로차로 진출 반경		
	R4		14	- 좌회전차량의 회전교차로 주행반경		
	R5		35	- 우회전차량의 회전교차로 주행반경		
기하 구조	차로수	폭(m)		양보선과횡단보도 이격거리(m)	분리교통섬	
		진입로	진출로		길이(m)	형태
접근로1	1	5.0	5.0	35.0	3.0	노면도색
접근로2	2	9.6	9.4	12.0	21.0	돌음
접근로3	2	9.0	9.8	-	32.0	돌음

표 8. B사거리 교차로 현황

교차로유형	도로유형	주도로	부도로		
신호운영	도로등급	지방도	시·군도		
4지교차로	설계속도	80 km	50 km		
접근로별	접근로1	접근로2	접근로3	접근로4	접근로5
교차로 접근 속도	73	40	72	41	
일교통량(방향별)	1,723	646	1,862	623	
보행 교통량	적음	적음	적음	적음	
자전거 교통량	적음	적음	적음	적음	
주변토지 이용현황	주거	상업	공업	기타	
	○				

것으로 분석되었다. 그림 4는 신호운영 교차로 및 회전교차로에 대한 설치 전·후의 기하구조를 나타낸 것이다.

B사거리 신호운영 교차로는 동·서 방면 편도 2차로, 남·북 방면 편도 1차로인 110초 주기로 운영되고 있는 교차로를 동·서 방면 접근 2차로 및 남·북 방면 접근1차로, 내부 회전 2차로인 도시형 2차로 회전교차로로 계획되었다. 따라서 첨두시 교통량 631대/시를 기준으로 개선 전 신호운영에 의한 시뮬레이션과 회전교차로 설계 값을 적용하여 개선 후의 시뮬레이션을 통하여 분석한 결과 표 11에서 보는 바와 같이 차량 당 평균지체는 신호운영시 31.72초에서 회전

표 9. B사거리 회전교차로 설계기준

설계항목		설계값	비 고
지역구분		도시부	- 도시부, 지방부 구분
설계기준자동차(DS)		대형차	- 승용차, 버스, 트럭, 세미트레일러
내접원 직경(m)		45.0	- 내접원 직경 = 중앙교통섬 직경+회전차로, 트럭 턱 폭×2
중앙 교통섬 직경(m)	순(net) 중앙교통섬 직경(m)	19.0	- 트럭 턱 있는 경우 : 중앙교통섬 직경 =순(net)중앙교통섬직경+트럭턴 폭
	트럭턴 폭(m)	3.0	- 트럭 턱 없는 경우 : 중앙교통섬 직경 = 순(net)중앙교통섬 직경 - 순(net) 중앙교통섬 직경, 트럭 턱 폭(m)
회전 차로수(개) 및 폭(m)	회전차로 수		2
	회 전 차로폭	1차로 폭	5.0
		2차로 폭	5.0
곡선반경(m)	R1		25
	R2		18
	R3		41
	R4		19
	R5		25
기하 구조	차로수	폭(m)	
		진입로	진출로
		양보선과횡단보도 이격거리(m)	
		분리교통섬	
		길이(m)	
		형태	
접근로1		2	9.5
접근로2		1	4.5
접근로3		2	9.4
접근로4		1	4.5

표 10. A삼거리 개선 전 · 후 운영 분석결과

분석지표	Before	After	증감율 (개선율%)	<p>A삼거리 교차로</p>
평균지체[s]	12.73	2.73	78.55	
평균속도[km/h]	32.14	45.15	40.48	
총 지체시간[h]	2.94	0.56	90.95	
총 통행시간[h]	8.1	6.59	18.64

A삼거리 교차로(전)

A삼거리 회전교차로(후)

그림 4. A삼거리 교차로의 개선 전·후 비교

교차로로 전환 운영 시에는 2.61초로 91.77%의 개선이 되며, 평균운행속도는 21.59km/h에서 43.05km/h로 99.4%로 통행속도가 향상되었으며, 총 지체시간은 5.24h에서 0.48h로 90.84%, 총 통행시간은 7.97h에서 4.21h로 47.18% 향상되는 것으로 분석되었다. 그림 5는 신호운영 교차로 및 회전교차로에 대한 설치 전·후의 기하구조를 나타낸 것이다.

C사거리 교차로는 표 12에서 나타낸 것과 같이 차량 당 평균지체는 신호운영 시에는 30.89초에서 회전교차로로 전환 시에는 8.4초로 72.8%가 개선되며, 평균운행속도는 신호운영 시 26.45km/h에서 회전교차로 운영 시 40.05km/h로 51.41%로 통행속도가 향상되었으며, 총 지체시간은 19.84h에서 5.39h로 72.83%, 총 통행시간은 21.26h에서 14.95h로

41.49% 향상되는 것으로 분석되었다.

D사거리 교차로는 표 13와 같이 차량 당 평균지체는 신호 운영 시는 39.1초에서 회전교차로 전환 운영 시에 13.45초로 65.6% 개선이 되었으며, 평균운행속도 또한 15.34km/h에서 25.83km/h로 68.38%의 통행속도가 향상되었으며, 총 통행시간은 24.03h에서 14.95h로 37.78%, 총 지체시간도 15.17h에서 5.2h로 65.72% 향상되는 것으로 분석되었다.

E삼거리 교차로는 표 14와 같이 차량 당 평균지체는 신호 운영 시에는 24.59초에서 회전교차로로 전환 운영 시에는 2.88초로 88.28%가 개선되고, 평균운행속도 또한 25.48km/h에서 45.69km/h로 80.1%로 총 통행속도가 향상되었으며, 총 지체시간은 8.23h에서 0.96h로 88.23%, 총통행시간은

표 11. B사거리 개선 전·후 운영 분석결과

분석지표	Before	After	증감율 (개선율%)
평균지체[s]	31.72	2.61	91.77
평균속도[km/h]	21.59	43.05	99.4
총지체시간[h]	5.24	0.48	90.84
총통행시간[h]	7.97	4.21	47.18

B사거리 교차로(전)

B사거리 회전교차로(후)

그림 5. B사거리 교차로의 개선 전·후 비교

표 12. C사거리 개선 전 · 후 운영 분석결과

분석지표	Before	After	증감율 (개선율%)	<p>C사거리 교차로</p>
평균지체[s]	30.89	8.4	72.8	
평균속도[km/h]	26.45	40.05	51.41	
총지체시간[h]	19.84	5.39	72.83	
총통행시간[h]	21.26	14.95	41.49	

표 13. D사거리 개선 전 · 후 운영 분석 결과

분석지표	Before	After	증감율 (개선율%)	<p>D사거리 교차로</p>
평균지체[s]	39.1	13.45	65.6	
평균속도[km/h]	15.34	25.83	68.38	
총지체시간[h]	15.17	5.2	65.72	
총통행시간[h]	24.03	14.95	37.78	

표 14. E삼거리 개선 전 · 후 운영 분석 결과

분석지표	Before	After	증감율 (개선율%)	<p>E삼거리 교차로</p>
평균지체[s]	24.59	2.88	88.28	
평균속도[km/h]	25.48	45.69	80.1	
총지체시간[h]	8.23	0.96	88.33	
총통행시간[h]	16.04	9.51	40.71	

16.04h에서 9.51h로 40.71% 향상되는 것으로 분석되었다.

4.2.2 교통혼잡비용 분석 결과

4.2.2.1 차량운행비용

일반적으로 차량운행비용은 고정비와 변동비로 구분되며, 고정비는 교통혼잡 발생유무에 관계없이 일정하게 지출되는 비용으로서 본 연구에서는 승용차를 기준으로 인건비,

감가상각비, 보험비 및 제세공과금의 합인 17,061원/대 · 시를 원단위 값으로 적용하였다.⁴⁾ 표 15와 표 16은 분석도구인 VISSIM을 통하여 분석한 결과이다.

차량당 평균지체시간과 평균속도 등을 이용하여 신호교차

표 15. 교차로별 차량당 평균지체시간 비교

교차로명	교통량 (대/시)	Before (sec)	After (sec)	증감율 (개선율%)
A삼거리	849	12.73	2.73	78.55
B사거리	631	31.72	2.61	91.77
C사거리	2,317	30.89	8.4	72.81
D사거리	1,421	39.1	13.45	65.6
E삼거리	1,216	24.59	2.88	88.29

표 16. 교차로별 평균속도 비교

교차로명	교통량 (대/시)	Before (km/h)	After (km/h)	증감율 (개선율%)
A삼거리	849	32.14	45.15	40.48
B사거리	631	21.59	43.05	99.4
C사거리	2,317	26.45	40.05	51.42
D사거리	1,421	15.34	25.83	82.26
E삼거리	1,216	25.48	45.89	80.1

4) 2008년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석(조한선 외, 2010)의 자료를 원용함

로 및 회전교차로 운영에 따른 개선 전·후의 연간 고정비용에 대한 분석결과는 표 17과 같다. 표 17에서 보는 바와 같이 신호운영 교차로를 회전교차로로 변환 운영할 경우에 교통 혼잡비용 중 고정비는 B사거리의 연간 311,207천원(91.77%), C사거리의 연간 882,863천원(72.8%), D사거리의 연간 617,532천원(65.6%), E삼거리의 연간 447,272천원(88.28%)의 경제적 비용의 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 그리고 현재 회전교차로로 개선 운영 중에 있는 A사거리의 경우에는 연간 143,842천원으로 78.55%의 경제적 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

차량운행비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 변동비용에서 유지·정비비, 엔진오일비, 타이어마모비 등으로 구성되나 일반적으로 교통 혼잡비용 추정에서는 연료비의 변동치만을 분석대상으로 하였으며, 기타 비용은 교통 혼잡에 따른 비용 변화의 폭이 극히 미비하여 제외하였다. 교통혼잡으로 인한 차량통행속도의 감소는 차량의 연료소비를 증가시키게 되고 변동비는 차량의 운행속도와 유류가격에 직접적인 영향을 받게 되므로 표 5. 차종별 속도-연료 소비모형 회귀식을 이용하여 교통 혼잡에 따른 연료 소모량을 계산하였다.

표 18에서 보는 바와 같이 신호운영 교차로를 회전교차로로 변환하여 운영할 경우에 변동비는 B사거리 교차로가 연간 61,231천원(51.34%)의 절감효과가 있는 것으로 분석이 되고 있으며, C사거리 교차로는 연간 49,028천원(36.4%), D사거리 교차로는 연간 156,075천원(40.47%), E삼거리 교차로는 연간 186,691천원(48.79%)의 경제적 비용 절감효과가 있는 것으로 분석되었다. 그리고 현재 회전교차로로 개선 운영 중에 있는 A삼거리 교차로의 경우에도 연간 58,020천원으로 35.79%의 연료소비에 따른 경제적 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

4.2.2.2 시간가치비용

시간가치비용은 교통 혼잡으로 인하여 발생하는 손실시간분의 비용으로서, 절감되는 시간이 어떤 목적에 사용될 것인가에 따라 통행시간 절감편익은 달라진다. 업무통행의 경우 통행시간 절감분은 그만큼 업무시간의 증가, 곧 생산 활동을 위한 시간의 증가분이 되며, 비업무통행의 경우는 여가활동을 위한 시간의 증가분이 된다.

본 연구에서는 주어진 교통량과 VISSIM을 통해 산출한 표 15(차량당 평균지체시간)과 표 16(교차로별 평균속도) 그리고 업무통행과 비업무통행에 대한 시간가치비용(표 19), 교통수단별 통행목적 분포비율(표 20), 권역·차종별 재차인원(표 21) 자료를 활용하여 승용차를 기준으로 각각의 교차로별 시간가치 비용을 산출하였다.

대상지점에 대한 업무통행 시간 가치 비용은 표 22에서 제시한 분석 결과 값을 보면 B사거리 교차로는 연간 7,545천원으로 91.77%개선 효과가 있는 것으로 분석이 되고 있

표 19. 통행목적별, 차종별 시간가치비용

단위: 원/인·시

구분	업무통행	비업무통행
승용차	19,569	6,700
버스	18,565	4,859

출처 : 국토해양부(2009a), 한국개발연구원(2001)

표 20. 교통수단별 통행목적분포 비율

단위 : %

구분	승용차	버스	철도	항공
업무통행	19.5	16.4	16.8	35.7
비업무통행	80.5	83.6	83.2	64.3

출처 : 조남건 외(1999)

표 17. 교차로별 연간 개선 전·후 고정비용 결과

구분	Before (천원)	After (천원)	절감액 (천원)	절감율 (개선율%)
A	183,111	39,269	143,842	78.55
B	339,110	27,903	311,207	91.77
C	1,212,612	329,749	882,863	72.8
D	941,345	323,813	617,532	65.6
E	506,606	59,334	447,272	88.28

표 18. 교차로별 연간 개선 전·후 변동비용 분석결과

구분	Before (천원)	After (천원)	절감액 (천원)	절감율 (개선율%)
A	162,070	104,050	58,020	35.79
B	119,251	58,020	61,231	51.34
C	134,666	85,638	49,028	36.4
D	385,585	229,510	156,075	40.47
E	382,588	195,897	186,691	48.79

표 21. 권역별 · 차종별 재차인원 단위 : 인

권역	승용차	택시	승용차+택시	버스
전국권	1.55			9.98
수도권	1.27	1.54	1.319	12.95
부산 · 울산광역시권	1.35	1.52	1.36	17.60
대구광역시권	1.30	1.49	1.33	13.15
광주광역시	1.35	1.58	1.38	8.96
대전광역시권	1.28	1.54	1.31	10.48
전주대도시권	1.37	1.53	1.39	8.35

주)승용차+택시의 재차인원은 승용차와 택시의 총 재차인원을 총 승용차+택시 차량 대수로 나눈 평균값임. 단, 전국권의 경우 승용차 수단 O/D에 택시를 포함하므로 이들 수단에 대한 별도의 재차인원을 제공하지 않음.

출처: 한국교통연구원(2007), 서울시정개발연구원(2006), 한국교통연구원-KTDB 배포자료 관련 협조요청에 대한 답변 공문(교통DB 740-47).

으며, C사거리 교차로는 연간 21,404천원(72.81%), D사거리 교차로는 연간 14,971천원(65.6%), E삼거리 교차로는 연간 10,843천원(88.29%)의 절감효과가 있었으며 그리고 회전교차로로 개선이 완료되어 운영 중에 있는 A삼거리 교차로의 경우에도 연간 3,487천원으로 78.55% 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

그리고 비업무통행에 대한 시간 가치 비용은 표 23에서 제시한 분석 결과 값을 보면 B사거리 교차로는 연간 10,664천원으로 91.77%개선 효과가 있는 것으로 분석이 되고 있으며, C사거리 교차로는 연간 30,252천원(72.81%), D사거리 교차로는 연간 21,160천원(65.6%), E삼거리 교차로는 연간 15,326천원(88.29%)의 절감효과가 있었다. 그리고 회전교차로로 개선이 완료되어 운영 중에 있는 A삼거리 교차로의 경우에도 연간 4,929천원으로 78.55% 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

앞에서 살펴본 바와 같이 신호운영 교차로를 회전교차로로 변환하여 운영할 경우 시간가치 비용을 종합 분석하여 보면 B사거리 교차로는 연간 18,209천원(91.77%), C사거리 교차

로는 51,656천원(72.81%), D사거리 교차로는 36,131천원(65.6%), E삼거리 교차로는 26,170천원(88.29%)의 절감효과가 있는 것으로 분석이 되었다. 그리고 현재 신호운영교차로에서 개선 완료되어 회전교차로로 운영 중에 있는 A삼거리 교차로의 경우에도 연간 8,416천원으로 78.55%의 경제적 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

최근 들어 제주도내 도심지에서 시공이 이루어지는 회전교차로의 운영 효과 분석을 위하여 본 연구에서는 다지교차로와 회전교차로의 두 운영시스템에 대한 운영성과 및 교통혼잡비용을 이용한 경제적 효과를 분석하였다. 분석대상 교차로 중에서 교통신호운영 교차로에서 회전교차로로 시스템을 전환하여 운영 중에 있는 A삼거리 교차로는 차량 당 평균 지체시간이 신호제어 운영시 12.73초에서 2.73초로 78.55%의 개선 효과가 있으며, 평균운행속도는 32.14/h에서 45.15/h로 10.48% 향상되었다. 그리고 총 통행시간의 경우 8.1h에서 6.59h로 18.64%의 운영 개선효과가 있는 것으로 분석이 되었다. 또한 경제적 비용에서의 교통 혼잡비용은 교통신호 시스템으로 운영하였을 경우 연간 355,895천원이 발생하는 것으로 분석되었으나, 회전교차로 시스템에서는 145,617천원으로 연간 210,278천원으로 59.85%의 경제적 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 그리고 본 연구에서 비교 분석한 회전교차로로 전환 예정에 있는 B사거리, C사거리, D사거리, E삼거리 교차로도 교통량의 차이에 의한 결과값의 차이는 있으나 회전교차로로 전환할 경우 개선효과가 있는 것으로 조사되었다.

이러한 분석 결과는 회전교차로인 경우 일정 교통량 이하에서 신호에 따른 대기시간과 정차가 거의 없이 연속류의 형태로 차량이 교차로를 통과할 수 있음에 따라 그에 따른 운영효율이 향상된 것으로 판단이 된다.

그러나 운영성과 및 경제적 효과가 있음에도 불구하고 새로운 시스템에 대한 도입 운영에는 많은 어려움이 있을 것

표 22. 연간 업무통행 시간비용 개선 전 · 후 분석 결과

구분	Before (천원)	After (천원)	절감액 (천원)	증감율 (개선율%)
A	4,439	952	3,487	78.55
B	8,221	676	7,545	91.77
C	29,398	7,994	21,404	72.81
D	22,821	7,850	14,971	65.60
E	12,282	1,438	10,843	88.29

표 23. 연간 비업무통행 시간비용 개선 전 · 후 분석 결과

구분	Before (천원)	After (천원)	절감액 (천원)	증감율 (개선율%)
A	6,274	1,346	4,929	78.55
B	11,620	956	10,664	91.77
C	41,551	11,299	30,252	72.81
D	32,256	11,096	21,160	65.60
E	17,359	2,033	15,326	88.29

으로 예상된다. 새로운 시스템과 생소한 교통 환경에 대한 이용자의 거부감, 그리고 도로 이용에 대한 정보의 부족에 따른 사고발생 위험도 발생할 수 있으며, 특히 주변 교통여건을 모르는 이용자와 야간 운행시 교차로구조에 대한 시인성 확보 등의 문제가 발생할 수 있음에 따라 주변 교통안전 시설 및 정보 제공시설과 교차로 내 및 주변 도로에 대한 조명시설 등 이용자 중심의 시설 확충 개선도 필요하다. 본 연구에서는 다지교차로의 회전교차로 전환에 따른 경제적 효과 분석에만 국한하였으며, 이용자의 거부감이나 새로운 시스템 도입에 따른 정보 부족 등 정책적인 운영 측면에 대해서는 효과 분석의 범위에서 제외하였다.

본 연구는 분석도구에 의한 미시적 비교 분석으로서 도내 운전자들의 행태를 반영하지는 못하였으며, 단독교차로 운영 상황에 대하여 한정된 효과 분석 연구에 불과하다. 그리고 본 연구는 회전교차로가 확대 보급되고 있는 현 시점에서 운영성과 및 경제적 효과에만 국한되고 안전성(교통사고 등) 및 에너지 절감, 환경적 영향에 대한 검증은 실시하지 못하였다는 한계도 있다.

그러나 서로 다른 교차로 시스템인 다지교차로와 회전교차로에 대한 교통류의 특성에 따른 교차로 운영효과 및 경제적 효과에 대한 비교평가를 통하여 회전교차로의 도입에 따른 실증적 효과를 제시하였다는 점에서 가치가 있다고 할 수 있다. 향후 일정 구간 교통축에서의 연속된 회전교차로 운영 및 회전교차로와 교통신호운영 교차로가 혼재된 상황 등 다양한 교통여건에 대한 운영 효과분석 등의 평가 연구도 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0003491)

참고문헌

건설교통부(2004) **평면교차로 설계 지침**, 한국건설기술연구원.
경찰청, 행정안전부, 국토해양부, 국가경쟁력강화위원회(2009) **교통운영체계 선진화방안**.
교통개발연구원(1992) **교통혼잡비용 예측 연구**.
교통개발연구원(1998) **월간교통**, 1998년 12월호.
국가경쟁력강화위원회(2009) **녹색교통을 위한 회전교차로(Roundabout) 활성화 방안**.
국토해양부(2009a) **건설교통통계연보**.
국토해양부(2009b) **교통시설 투자평가지침**.

국토해양부(2010) **회전교차로 설계지침**.
김도한, 박규호, 조창구, 박래진(2009) 회전교차로 설치에 따른 기대효과, **대한토목학회 정기학술대회논문집**, 대한토목학회, pp. 3079-3082.
노동부(2009) **2008 노동통계연감**.
박병호, 송대섭(2003) 교차로계획에서 현대식 회전교차로(Modern Roundabout)의 도입 타당성, 충북대학교 건설기술연구소, **건설기술 논문집**, 제22권 제2호.
박병호, 정용일(2005) SIDRA를 이용한 4지 1차로 현대식 회전교차로의 효과 평가, **한국지역개발학회지**, 한국지역개발학회, 제17권 제2호.
박준(2010) **교통안전성과 운영 수준 분석을 통한 국내 회전교차로 적용성 검토 연구**, 서울시립대학교 박사학위논문.
보험개발원(2008) **보험개발원 내부자료**.
서울시정개발연구원(2006) **2005년 서울시 교통지표 산출**.
예수영(2003) **라운드어바웃(Roundabout) 설치방안 연구**, 명지대학교 석사학위논문.
이동욱, 고상익(2011) 다지교차로의 회전교차로 변환에 대한 타당성 기초연구, **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, pp. 2161-2164.
인병철(2010) **보행교통량에 근거한 회전교차로 효과분석**, 충북대학교 석사학위논문.
전우훈(2000) **국내 Roundabout의 용량분석**, 한양대학교 석사학위논문.
정용일(2005) **SIDRA를 이용한 현대식 회전교차로와 일반교차로의 효과 비교분석**, 충북대학교 석사학위논문.
제주특별자치도(2009) **녹색교통시대를 여는 회전교차로 시범도시사업 추진계획**.
제주특별자치도(2010) **제주도내 회전교차로 설치공사 실시계획**.
조남진, 김홍석, 임영태, 이규방(1999) **도로사업 투자분석 기법정립**, 국토연구원.
조한선, 박인기, 이동민, 박준석(2007) **교통혼잡비용 추정방법 개선**, 한국교통연구원.
조한선, 이동민(2008) **2007년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석**, 한국교통연구원.
조한선, 이동민, 박상준(2010) **2008년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이분석**, 한국교통연구원.
최재민(2009) **Traffic Microsimulation 실무(VISSIM사례)**, **교통기술과 정책**, 제6권 제2호.
한국개발연구원(2001) **도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구**.
한국개발연구원(2004) **도로·철도부문사업의 예비타당성표준지침 수정·보완 연구(제4판)**.
한국교통연구원(2007) **2006년 국가교통DB구축사업 제5권-전국 지역간 여객 기종점통행량 자료의 전수화**.
한국교통연구원(2010) **KOTI - Brief, Vol. 2, No. 7**.
한수산, 김경환, 박병호(2010) 다지 회전교차로의 효과분석, **한국도로학회 학술발표회 논문집**, 한국도로학회, pp. 187-194.
현대자동차(2008) **현대자동차 차량판매가격 자료**.
Thaweasak Taekratok (1998) **Modern Roundabout for Oregon**, Oregon Department of Transportation (Report No. OR-RD-98-17).

(접수일: 2012.4.11/심사일: 2012.7.3/심사완료일: 2012.7.23)