

## 회전교차로 형태별 운영 및 안전성 평가에 관한 연구

### An Operation and Safety Assessment Study of Roundabout Types

장기훈 Jang, Ki-Hun | 한국지능형교통체계협회 사업기획부 연구원 (E-mail : jkh86@itskorea.kr)  
이상수 Lee, Sang Soo | 정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 정교수 · 교신저자 (E-mail : sslee@ajou.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The aim of this study is to analyze and compare the operational effectiveness and safety of three different types of roundabout found in the literatures using a VISSIM and SSAM program.

**METHODS :** The three types roundabout tested are the 2-lane roundabout (2R), the Turbo roundabout (TR), and the Flower roundabout (FR). For each scenario, three roundabout types and traffic conditions such as traffic volume and movement ratio were applied to VISSIM in order to compute the average delays. In addition the total conflict was calculated through SSAM by using trajectory data from VISSIM.

**RESULTS :** From the analysis results, the average delay in TR and FR type was higher than the 2R. Regardless of the roundabout types, the average delay was reduced as the right-turn vehicles increased. The total conflict in TR was fewer than 2R for all traffic conditions.

**CONCLUSIONS :** The results of this study can be used in the planning and design process of roundabout deployment. The data also provides some numerical justifications in transition from at-grade intersection to roundabout.

#### Keywords

*Conflict, Delay, SSAM, Turbo-Roundabout, Flower Roundabout*

Corresponding Author : Lee, Sang soo, Professor  
Department of Transportation System Engineering, Ajou University,  
Worldcupro 206, Yeongtong-gu, Suwon-si, 16499, Korea  
Tel : +82.31.219.2539 Fax : +82.31.219.3601  
E-mail : sslee@ajou.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Aug. 31, 2015 Revised Aug. 31, 2015 Accepted Oct. 01, 2015

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경 및 목적

회전교차로는 교통류가 신호등없이 교차로 중앙의 원형교통섬을 중심으로 회전하여 교차부를 통과하도록 하는 평면 교차로의 일종이다(HCM 2010). 회전교차로는 일반적인 신호교차로와 비교하여 특정한 교통상황에서 안전과 운영측면에서 장점을 인정받아 프랑스, 영국 등 유럽에서는 1970년대부터 회전교차로를 설치하여 운영하고 있다. 유럽의 국가들은 회전교차로의 장점을 인지하고, 이를 효율적으로 운영하기 위하여 회전교차로의 용량, 운영, 설계 등에 관한 다수의 연구를 수행하여 제

시하였다.

우리나라는 교통사고를 줄이면서 교통효율을 높이고자 2009년 “기초법질서 확립을 위한 교통운영체계 선진화 방안”에 대한 계획을 수립하였다. 교통운영체계 선진화 방안 연구의 7대 핵심과제 중 하나로 회전교차로를 채택하였으며, 국내에서 2010년부터 본격적으로 회전교차로 도입을 추진하였다. 우리나라도 국내에 회전교차로 도입 후 회전교차로의 서비스수준, 용량분석, 지체도 평가 등에 관한 기초적인 연구를 수행되고 있으나, 안전성에 대한 연구는 아직까지 미비한 것이 사실이다. 국토해양부(現 국토교통부)는 2010년 한국형 회전

교차로 설계지침을 제정하였으며, 행정안전부(現 행정자치부) 주관으로 전국적으로 회전교차로 시범사업을 수행해왔다. 이에 따라 각 지방자치단체에서는 회전교차로의 설치를 증가시키는 추세에 있다.

회전교차로 중에서 2차로 이상으로 설계된 회전교차로의 경우는 회전차로 내의 차로 변경, 추돌 등으로 인한 상충점이 다수 존재한다. 우리나라의 도로 여건상 2차로 이상의 차로를 갖는 회전교차로의 도입 사례가 향후 증가될 것으로 예상된다. 해외 회전교차로 사례에서는 이러한 상충점을 감소시키기 위해 다양한 회전교차로의 형태를 개발하여 제시하였다. 그러나 이러한 회전교차로 형태별에 따른 운영효과와 안전성에 관한 차이점을 분석한 결과가 없는 상황이다. 특히 최근에 소개된 Flower형 회전교차로에 대하여는 운영에 관한 관련 연구가 부족하여 국내 도입 시 이를 판단할 수 있는 관련 자료가 전무한 상태이다.

본 연구는 일반적인 2차로형 회전교차로와 해외에서 회전교차로의 새로운 형태로 제시된 Turbo형 회전교차로, Flower형 회전교차로에 대해 VISSIM과 대리안전척도모형(SSAM)을 이용하여 회전교차로 형태별 운영효과 및 안전성에 대해 분석한 결과를 제시하는데 목적이 있다. 회전교차로의 형태별 분석결과를 이용하여 향후 국내에 2차로형 회전교차로를 도입 시에 해당지역의 여건별로 적합한 회전교차로 형태를 파악하는데 근거 자료를 제공하고자 한다.

## 1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 수행과정은 다음과 같이 구성된다. 우선 이론적 배경을 통하여 회전교차로에 대한 기초적인 이론과 본 연구와 관련있는 국내·외 연구사례를 고찰하였다. 다음으로 회전교차로 형태에 따라 교통량 및 차량 진행방향별 비율을 구분하여 시나리오 설정 후 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 그리고 VISSIM에서 출력한 차량경로파일(\*.trj)을 SSAM에 적용하여 시나리오별 상충 발생 횟수를 산출하였다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 통계 분석을 수행하여 객관성을 확보하였다. 그리고 연구결과를 정리하고 향후 과제를 제시하였다.

## 2. 기존 문헌 고찰

### 2.1. 회전교차로 계획 및 기준

#### 2.1.1. 회전교차로 유형별 계획 기준

국내에서 사용하는 계획 기준에는 동일한 회전교차로

유형이라도 주어진 조건에 따라 다양한 설계제원을 적용할 수 있도록 제시하고 있다. 유형별 계획기준도 해당 교차로 여건에 맞는 회전교차로 설계제원에 따라 다음 Table 1과 같이 교통량에 따라 회전교차로의 크기를 선택적으로 사용할 수 있다. 그러나 국내 운전자들의 운전 습성 상 회전교차로 도입 초기에는 이용자들의 운영 효율성이 떨어질 것을 감안하여 국내에서의 운영효과가 입증될 때까지는 1차로 및 2차로 회전교차로의 경우 계획교통량의 85% 미만의 도로에 적용하는 것을 권장하고 있다.

Table 1. Planning Criteria of Roundabout Types

(Unit : vehicle/day)

Type	Small	1-lane	2-lanes
Traffic volume	12,000	20,000	32,000

#### 2.1.2. 교차로 유형별 전환 기준

기존 평면교차로를 회전교차로로 전환하여 교통소통과 교통안전 측면의 향상을 기대하는 경우 다음 Fig. 1과 같이 교차로 유형별 전환교통량 범위 내에서 적용한다. 전환기준에서 음영부분 범위에서는 교통류 특성과 교차로 주변 여건에 따라 교차로 운영방식을 탄력적으로 결정할 수 있도록 권장하고 있다.

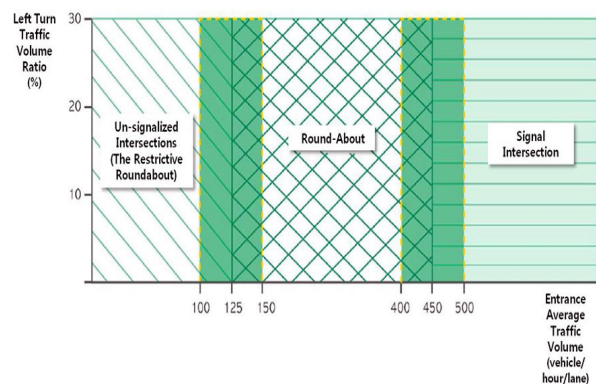


Fig. 1 Conversion Criteria for Roundabout

#### 2.1.3. 효과척도 및 LOS 기준

회전교차로의 운영효과를 평가하기 위해서는 신호교차로의 효과척도와 동일한 지체시간을 적용한다. 회전교차로의 지체는 신호교차로에 적용한 방식과 같이 회전교차로의 접근로에 따른 평균지체를 산정한 후 교통량 가중평균을 이용하여 회전교차로 평균지체를 산출하여 효과척도로 사용한다.

Table 2. LOS Criteria for Roundabout

LOS	Average delay	v/c
A	0 ~ 10	≤ 1.0
B	10 ~ 15	
C	15 ~ 25	
D	25 ~ 35	
E	35 ~ 50	
F	50 ~	≥ 1.0

## 2.2. 회전교차로 형태별 특징

2차로형 회전교차로는 국내에 도입되어 운영 중인 형태 중에서 규모가 큰 회전교차로이다. 국내의 회전교차로는 크기에 따라 소형, 1차로, 그리고 2차로 유형으로 구분하고 있다(MLIT 2010). 1차로형 및 2차로형 회전교차로는 진입·진출 차로 수 및 회전차로 수에 따라 구분되며, 설계기준 자동차는 대형자동차 또는 semi-trailer이다. 1개 이상의 접근로가 2차로인 경우 교차로 내에서 두 대의 차량이 나란히 주행할 수 있도록 넓은 회전차로가 필요하다. 또한 돌출된 분리교통섬 및 넘어갈 수 없는 중앙교통섬 설치, 진입차로에 감속을 위한 수평곡률의 설치가 가능하다.

Turbo형 회전교차로는 2차로형 회전교차로에서 발생하는 문제점 해결을 위해 1998년 네덜란드에서 처음 도입된 나선형 회전교차로이다. Turbo형 회전교차로의 운영 특성은 회전교차로 내에서는 차로 변경이 불가능하며, 회전교차로 진입 전 운전자가 가고자 하는 방향(직진, 좌/우회전)에 따라 차로를 결정하여 진입 후 통과해야 하는 특징을 갖는다(Song, 2011). 진입한 차로를 이용하여 해당 차로를 유지하면서 회전교차로에 진입하여 운전자가 원하는 방향으로 진출하도록 운영된다.

Flower형 회전교차로는 기본적으로 Turbo형 회전교차로와 동일하나 물리적인 시설을 이용하여 회전차로에서 차로를 구분한다. 우회전 교통류를 분리시켜 Turbo형 회전교차로의 직각 상충점과 2차로형 회전교차로에서 보이는 엇갈림 상충점도 없다. 그리고 Turbo형 회전교차로와는 달리 회전차로에 연석을 이동시킬 필요가 없다. 만약 2차로형 회전교차로가 설치된 지역은 주변 토지를 추가로 구매할 필요없이 형태의 전환이 가능한 특징을 갖고 있다.

## 2.3. 관련 연구 사례

Song(2011)은 미시교통시물레이션 분석을 통해 Turbo형 회전교차로와 2차로 회전교차로를 비교한 결

과, Turbo형 회전교차로는 주도로의 방향비율이 20%:70%:10%이거나 10%:80%:10%일 경우, 부도로의 방향비율이 30%:30%:40%일 때, 2,600~2,700vph까지 적용할 수 있는 것으로 분석되었다. Turbo형 회전교차로는 좌회전 교통량이 많아질수록 교통효율이 낮아지므로 주도로 좌회전 비율이 30% 이내인 지점을 중심으로 설치 가능성을 검토하였다.

Flannery(2001)는 회전교차로의 안전과 운영 성과 및 기하학적 특성에 펜실베니아 주립대학에서 실시한 3년간의 연구 결과를 제시하였다. 상기 연구는 회전교차로에서 안전과 운영에 영향을 미치는 기하구조적인 특징에 초점을 맞췄다. 연구 결과, 신호 제어 사고를 감소시키기 위해 지방부 회전교차로로 접근하는 기하학적 설계의 필요성을 제시하였다. NCHRP Report-572(2007)에서는 미국 회전교차로의 기하구조와 용량 모형, 안전성에 대해 제시하고 있으며, 회전교차로의 서비스 수준을 차량제어지체가 50초를 초과하게 되면 F로 정의하고 있다. Saccomanno et al.(2008)는 미시교통시물레이션을 이용해 신호교차로에서 상충과 회전교차로의 상충 패턴을 비교하였다. VISSIM을 이용해 시물레이션을 수행하였고, 사고잠재효과 분석에서 회전교차로가 신호교차로보다 안전한 것으로 분석되었다.

Al-Ghandour et al.(2011)는 상충 예측 모형을 세 가지 진출 제어(양보, 정지, 자유교통류) 시나리오를 기반으로 평가하였다. 회전교차로 안전성 평가를 위해 SSAM 분석의 이용을 입증하였고 시물레이션의 상충과 현장에서 관측된 사고 간의 실증적인 상관관계를 발견하였다. Fortuijn(2009)는 1차로 회전교차로보다 2차로 회전교차로에서 높은 운전 속도와 사고의 위험이 증가하는 문제를 대처하기 위해 1996년에 Turbo형 회전교차로를 개발하였다. 상기 연구에서 Turbo형 회전교차로에서 상해와 관련된 사고의 위험이 감소하는 것으로 나타났다.

Vasconcelos et al.(2013)의 연구는 사고 예측 모형을 확립하기 위해 결과와 비교하여 SSAM의 개념을 검증하고, 1차로형, 2차로형, Turbo형 회전교차로의 안전성을 평가하였다. 특히, Turbo형 회전교차로와 일반 회전교차로의 안전성을 평가하는데 접근법으로 SSAM의 가능성을 평가하였다. 상기 연구에서 분석은 Aimsun과 SSAM을 이용하여 실제 회전교차로에 적용하여 평가를 수행하였다.

Tollazzi et al.(2011)은 슬로베니아에 적용된 Turbo형 회전교차로에 대해 분석하였다. Turbo형 회전교차

로에서 직각 상충지점(Crossing Conflicts)은 예상보다 부정적인 효과가 큰 영향을 미치고 있음을 나타내고 있다. 상기 연구는 이런 문제점에 대한 대안으로 Flower형 회전교차로를 제시하였다.

## 2.4. 시사점 도출

기존 연구 검토결과, 국내에서는 회전교차로 운영효율에 대한 연구는 다양하게 시도되었으나 안전성에 관한 연구는 많이 미진한 실정이다. 그리고 Flower형 회전교차로에 대하여는 운영에 관한 비교 결과가 전무한 상태이다. 반면, 국외 연구의 경우 회전교차로의 운영 효율뿐만 아니라 안전성에 대한 연구도 다양하게 진행되고 있다. 따라서 본 연구는 미시교통시뮬레이션과 SSAM을 이용해 2차로 회전교차로의 형태에 따라 운영 효과를 평가하고, 상충 유형별 횡수를 비교평가하여 회전교차로 형태별 안전성에 대하여 분석하고자 한다.

## 3. 평가방법론

### 3.1. 시뮬레이션 틀 선정

#### 3.1.1. VISSIM

본 연구에서는 회전교차로 형태별로 2차로형, Turbo형, Flower형 회전교차로를 미시교통시뮬레이션을 사용하여 네트워크를 구현하였다. 시뮬레이션 프로그램으로는 국내외에서 회전교차로 평가에 많이 사용되고 있으며, 다양한 변수들의 조정이 가능한 VISSIM을 선정하였다.

#### 3.1.2. SSAM

FHWA에서 개발한 대리안전척도모형(SSAM)은 미시교통시뮬레이션 모형과 상충분석기법이 결합된 모형이다. 교통사고 분석과 관련하여 다양한 사고 관련 변수를 고려하여 자동적으로 상충분석 작업을 수행하고, 이러한 접근을 통한 각종 시나리오 또는 설계 대안에 대한 안전성을 검증하기 위한 효과적인 도구이다.

### 3.2. 시뮬레이션 모형 구축 및 정산

#### 3.2.1. 시뮬레이션 모형 구축

본 연구에서 적용한 네트워크는 독립 4지 2차로 회전교차로를 기준으로 구축하였다. 네트워크는 평지로 구성되어 있고, 접근로 길이는 250m인 직선형태로 가정하였다. 교통량 단위는 vph(vehicles per hour)를 사용했

고, 차종 및 구성 비율은 승용차(95%)와 중차량(5%)으로 구성하였으며, 주도로와 부도로의 교통량 비율은 균등하다고 가정하였다. 또한 분석을 단순화시키기 위해 유턴 차량 및 보행자 통행은 없다고 가정하였다.

#### 3.2.2. 시뮬레이션 정산

본 연구에서는 VISSIM으로 구현한 네트워크를 다양한 파라미터를 이용하여 현실의 교통상황과 유사하게 만들기 위하여 세밀한 정산과정을 수행하였다. 정산을 실시하기 위해 비교 지표로 지점별 개별차량의 평균통행속도를 선정하였으며, 정산 값으로 본 연구 회전교차로와 유사한 제천시 지실회전교차로의 실측 자료를 이용하였다.

우선 정산을 수행하기 전에 사전 시뮬레이션을 수행하였다. 정산과정에서 속성 변경은 속도와 직접적으로 연관이 있는 Desired Speed를 조정하였으며, 이와 관련된 자료는 Table 3에 제시하였다. 정산 후 지점속도에 대한 결과 값은 Table 4에 나타내었다. 정산 후 지점별 평균속도가 조사된 실측자료와 거의 동일하게 나타난 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Parameter Values for Calibration Process

Section	Before calibration	After calibration
Desired speed(kph)	Car : 40(40-45) HGV : 30(30-35)	Car : 42(42-52) HGV : 42(42-52)
Curved speed(kph)	Car : 25(25-30) HGV : 25(25-30)	Car : 29(29-34) HGV : 29(29-34)

Table 4. Calibration Results

Section	0m point			60m point		
	survey	before	after	survey	before	after
Spot speed (km/h)	30.8	25.5	30.75	48.8	43.0	48.7

### 3.3. 시뮬레이션 수행

본 연구의 시나리오는 2차로형, Turbo형, Flower형의 형태별 회전교차로를 대상으로 하여 교통량 및 차량의 회전비율에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시나리오 구성은 다음의 Table 5와 같이 설정하였으며, 이는 회전교차로 설계지침의 교차로 유형별 전환기준에 따라 교통량 및 차량의 회전비율을 반영하여 구성하였다. 시뮬레이션 평가는 각 시나리오 별로 난수(random seed)를 변경하여 10회 반복하였다.

Table 5. Setting of Simulation Scenario

Scenario	Roundabout type	Movement ratio (L:T R)	Volume of approach (vph)
1	2-lanes roundabout	1:6:3	100~500 (Increased by 100vph)
2		2:6:2	
3		3:6:1	
4	Turbo-roundabout	1:6:3	
5		2:6:2	
6		3:6:1	
7	Flower-roundabout	1:6:3	
8		2:6:2	
9		3:6:1	

본 연구에서 운영효율과 관련된 효과척도는 도로용량 편람(2013)에서 평균지체에 따른 회전교차로의 서비스 수준을 제시하고 있어 그 기준에 따라 평균지체로 선정하였으며, 시뮬레이션 운영효과를 평가하였다. 또한 안전성과 관련된 효과척도는 총 상충횟수를 선정하였다.

#### 4. 평가결과 및 분석

##### 4.1. 회전교차로 형태별 평균지체 분석

우회전 비율이 높은 교통류에 관한 회전교차로 형태에 따른 평균지체 분석 결과는 다음 Table 6과 같다. 우회전 비율이 많은 경우는 교통량이 1,200vph까지는 지체의 변화가 매우 작게 나타났으며, 이후에 형태별로 차이가 나타났다. 교통량이 2,000vph인 경우, Flower형태가 11.6 s/v로 가장 많은 지체를 나타내었지만 다른 형태의 결과와 비교하여 운영 관점에서 큰 차이는 없는 것으로 파악되었다.

Table 6. Average Delay of Roundabout Types (1:6:3)

Section	Movement ratio (1:6:3)		
	Average delay(s/v)		
volume(vph)	2-lanes	Turbo	Flower
400	1.64	1.76	1.69
800	2.14	2.50	2.38
1,200	2.91	3.59	3.57
1,600	3.97	5.59	5.98
2,000	5.44	8.86	11.65

우회전과 좌회전 비율이 균등한(각 20%) 교통류에 관한 회전교차로 형태에 따른 평균지체 분석 결과는 Table 7과 같다. 이 경우에는 2차로형 회전교차로의 지체변화

가 가장 적게 나타났고, 2,000vph까지 LOS A로 파악되었다. 그러나 교통량이 1,600vph에서 2,000vph로 증가할 때, Turbo형 회전교차로의 평균지체는 6.8 s/v 증가하였으며, Flower형 회전교차로는 평균지체가 24.4 s/v 증가하여 지체가 매우 증가한(LOS D) 운영 결과를 나타내었다.

Table 7. Average Delay of Roundabout Types (2:6:2)

Section	Movement ratio (2:6:2)		
	Average delay(s/v)		
volume(vph)	2-lanes	Turbo	Flower
400	1.75	1.92	2.08
800	2.50	2.82	3.21
1,200	3.59	4.26	5.24
1,600	5.59	7.36	10.09
2,000	8.86	14.22	34.54

좌회전 비율이 높은 교통류를 수용한 회전교차로 형태에 따른 평균지체 분석 결과는 다음 Table 8과 같다. 교통량이 1,200vph 이하인 경우에는 각 회전교차로의 형태별로 큰 지체 차이가 나타나지 않았다. 그러나 교통량이 1,600vph에서 2,000vph로 증가할 때, 2차로형 회전교차로의 평균지체는 5.6 s/v 증가하였으나, Turbo형 회전교차로는 25.3 s/v로 지체가 크게 증가하였다. Flower형 회전교차로의 경우 교통량이 1,600에서 2,000vph로 증가할 때 급격하게 지체가 증가하여 LOS F의 기준을 초과하는 121.7 s/v 결과를 나타내었다. 이는 Flower형 회전교차로 기하구조가 접근로는 2차로이지만 회전차로는 1차로라서 회전차로를 이용하는 차량이 증가함에 따라 Flower형 회전교차로의 용량이 초과하여 발생하는 것으로 판단된다.

Table 8. Average Delay of Roundabout Types (3:6:1)

Section	Movement ratio (3:6:1)		
	Average delay(s/v)		
volume(vph)	2-lanes	Turbo	Flower
400	1.69	1.84	2.06
800	2.38	2.75	3.31
1,200	3.57	4.44	6.13
1,600	5.98	8.69	15.55
2,000	11.65	34.07	121.71

이와 같이 시뮬레이션 분석 결과, 2차로형 회전교차로의 평균지체가 전체적으로 가장 낮음을 확인할 수 있

다. 이는 2차로형 회전교차로는 기하구조상의 물리적인 제약사항이 Turbo형 회전교차로와 Flower형 회전교차로 보다 적어서 나타나는 결과로 판단된다.

#### 4.2. 회전교차로 형태별 안전성 평가

회전교차로 형태에 따른 상충횟수 분석 결과, 우회전 비율이 높은 교통류의 경우에는 Flower형 회전교차로의 상충 발생횟수가 가장 적은 것으로 나타났다. 그리고 2차로형 회전교차로의 상충횟수가 모든 교통량 조건에서 가장 큰 값으로 파악되었다. 교통량이 2,000vph인 경우 2차로형 회전교차로의 상충횟수는 94.0회로 Flower형 회전교차로의 약 2.35배 정도로 상충 발생횟수가 높게 나타났다.

Table 9. Total Conflicts of Roundabout Types (1:6:3)

Section	Movement ratio (1:6:3)		
	Total conflicts (frequency)		
volume(vph)	2-lanes	Turbo	Flower
400	0.8	0.2	0.1
800	6.0	1.8	0.9
1,200	22.5	6.6	4.4
1,600	52.1	20.8	16.9
2,000	94.0	47.3	39.9

우회전과 좌회전 비율이 균등한(각 20%) 교통류를 적용한 경우의 상충횟수 결과는 Table 10과 같다. 이 경우에는 회전교차로 형태에 관계없이 전체적으로 상충횟수가 증가하였다. 이는 좌회전 비율이 10%에서 20%로 증가함에 따라 회전차로를 이용하는 교통량이 증가하였고, 이에 따라 차량의 상충횟수가 증가한 것으로 분석된다.

형태별로 비교 분석해보면, 모든 교통량에서 Turbo형 회전교차로의 상충 발생횟수가 가장 적은 결과를 얻었다. Flower형 회전교차로의 경우 2차로형 회전교차로보다는 상대적으로 적은 상충횟수 결과를 보였지만, Turbo형 회전교차로보다는 상충횟수가 매우 증가하였다.

Table 10. Total Conflicts of Roundabout Types (2:6:2)

Section	Movement ratio (2:6:2)		
	Total conflicts (frequency)		
volume(vph)	2-lanes	Turbo	Flower
400	0.9	0.4	0.4
800	7.7	1.4	3.0
1,200	26.0	9.3	16.8
1,600	61.9	26.8	49.0
2,000	124.8	59.7	107.6

좌회전 비율이 높은 교통류에 관한 상충횟수 결과는 다음 Table 11과 같다. 좌회전 비율이 높은 경우, 모든 회전교차로의 상충횟수가 가장 크게 나타났는데, 이는 회전차로를 이용하는 교통량이 증가하면서 차량의 상충횟수가 전체적으로 증가한 것으로 분석된다. 교통량이 1,600vph 이하인 경우에는 Turbo형과 Flower형 회전교차로가 유사한 상충횟수 결과를 나타내었지만, 교통량이 2,000vph인 경우에는 Turbo형 회전교차로의 상충 발생횟수가 가장 적은 것으로 나타났다. 이는 교통량이 증가함에 따라 Flower형 회전교차로의 용량이 초과하여 상충이 크게 증가한 것으로 분석된다. 그리고 2차로형 회전교차로는 상충횟수가 모든 교통량 조건에서 가장 큰 값으로 파악되었다.

Table 11. Total Conflicts of Roundabout Types (3:6:1)

Section	Movement ratio (3:6:1)		
	Total conflicts (frequency)		
volume(vph)	2-lanes	Turbo	Flower
400	1.8	0.3	0.3
800	9.5	2.5	1.8
1,200	30.5	14.2	11.5
1,600	73.5	40.5	39.8
2,000	149.7	78.7	111.9

이와 같은 분석결과, Turbo형 회전교차로의 상충횟수가 전체적으로 가장 적었고, 2차로형 회전교차로의 경우 모든 교통량 조건에서 가장 높은 상충횟수를 나타내어 안전측면에서 미흡한 점을 확인할 수 있다.

#### 4.3. 통계적 분석

분석된 결과에 대하여 통계분석프로그램인 SPSS를 이용하여 통계적 검증을 수행하였다. 독립변수가 2개 이상인 경우에 집단 간 평균비교를 수행하는 분석방법인 다원분산분석(multi-way analysis of variance)을 사용하였다. 다원분산분석은 하나의 종속 변수에 두 개 이상의 독립변인이 주는 영향을 분석할 수 있다. 그리고 다원분산분석을 통해 도출된 결과를 이용하여 각 독립변수별 지체 차이에 대한 사후검정을 Scheffe 기법을 적용하여 실시하였다.

##### 4.3.1. 회전교차로 형태별 평균지체 통계 분석

회전교차로 형태별 평균지체의 개체-간 효과 검정의 결과는 다음 Table 12에 제시되어 있다. 검정에 사용된

가설은 다음과 같다.

귀무가설( $H_0$ ): 요인별 평균지체의 차이가 없다.

대립가설( $H_1$ ): 요인별 평균지체의 차이가 있다.

교통량, 회전교차로 형태, 방향별 비율 인자의 유의확률이 0.000이 나왔다. 이는 유의수준인 0.05보다 작기 때문에 위의 귀무가설을 기각하였다. 따라서 교통량, 회전교차로 형태, 방향별 비율에 따라서 평균지체가 차이가 있다는 것을 확인하였다.

Table 12. ANOVA Test Results on Average Delay

Section	Type III sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F	Significance probability
volume	40628	4	10157	536.52	0.000
roundabout type	9989	2	4995	263.83	0.000
mvnt ratio	9616	2	4808	253.97	0.000
volume* roundabout type	29354	8	3669	193.82	0.000
volume* mvnt ratio	26477	8	3310	174.82	0.000
roundabout type* mvnt ratio	8494	4	2124	112.17	0.000
volume* roundabout type* mvnt ratio	27435	16	1715	90.57	0.000
error	7667	405	19	-	-
sum	193614	450	-	-	-
adj. sum	159661	449	-	-	-

분산분석에서 나타난 평균지체의 차이를 회전교차로 형태별로 비교하기 위하여 Scheffe 기법을 적용하여

Table 13. Scheffe Test Results on Average Delay

(I) Round-about type	(J) Round-about type	Mean difference (I-J)	Standard error	Significance probability	95% confidence interval	
					minimum	maximum
2-lanes	Flower	-11.25	0.502	0.000	-12.49	-10.02
	Turbo	-3.40	0.502	0.000	-4.63	-2.17
Flower	2-lanes	11.25	0.502	0.000	10.02	12.49
	Turbo	7.85	0.502	0.000	6.62	9.09
Turbo	2-lanes	3.40	0.502	0.000	2.17	4.63
	Flower	-7.85	0.502	0.000	-9.09	-6.62

사후검정을 실시하였고, 그 결과는 Table 13에 나타내었다. 다중 비교를 실시한 결과, 각 회전교차로 형태별로 비교 분석된 결과들의 유의확률이 모두 0.000으로 나타났다. 그러므로 2차로형, Turbo형, Flower형 회전교차로 형태별로 확인된 평균지체 차이는 통계적 유의성이 있는 것으로 판단된다.

#### 4.3.2. 회전교차로 형태별 상충횟수 통계 분석

회전교차로 형태별 상충횟수에 관한 개체-간 효과의 검정결과는 Table 14에 나타내었다. 본 검정에 사용된 가설은 다음과 같다.

귀무가설( $H_0$ ): 요인별 상충횟수의 차이가 없다.

대립가설( $H_1$ ): 요인별 상충횟수의 차이가 있다.

Table 14. ANOVA Test Results on Total Conflict

Section	Type III sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F	Significance probability
volume	499086	4	124771	2402.29	0.000
roundabout type	43965	2	21983	423.24	0.000
mvnt ratio	22599	2	11300	217.56	0.000
volume* roundabout type	36663	8	4583	88.24	0.000
volume* mvnt ratio	30424	8	3803	73.22	0.000
roundabout type* mvnt ratio	5020	4	1255	24.16	0.000
volume* roundabout type* mvnt ratio	6669	16	417	8.03	0.000
error	21035	405	52	-	-
sum	1086395	450	-	-	-
adj. sum	665461	449	-	-	-

표에서 보듯이 교통량, 회전교차로 형태, 방향별 비율 인자의 유의확률이 모두 0.000이 나왔다. 이는 유의수준인 0.05보다 작기 때문에 위의 귀무가설을 기각하였다. 따라서 SSAM 분석결과로 나타난 상충횟수는 교통량, 회전교차로 형태, 방향별 비율에 따라서 차이가 발생한다는 사실을 확인할 수 있다.

앞서의 지체 분석과 마찬가지로, 분산분석에서 나타

난 상충횟수의 차이를 회전교차로 형태별로 비교하기 위하여 Scheffe 기법을 적용하여 사후검정을 실시하였고, 결과는 Table 15에 제시하였다. 다중 비교를 실시한 결과, 각 회전교차로 형태별로 비교 분석된 결과들의 유의확률이 모든 경우의 수에서 0.000으로 나타났다. 그러므로 2차로형, Turbo형, Flower형 회전교차로 형태별로 확인된 상충횟수 차이는 통계적으로 매우 유의성이 높은 것으로 판단할 수 있다.

Table 15. Scheffe Test Results on Total Conflict

(I) Round- about type	(J) Round- about type	Mean difference (I-J)	Standard error	Significance probability	95% confidence interval	
					minimum	maximum
2-lanes	Flower	17.12	0.83	0.000	15.08	19.16
	Turbo	23.39	0.83	0.000	21.34	25.43
Flower	2-lanes	-17.12	0.83	0.000	-19.16	-15.08
	Turbo	6.27	0.83	0.000	4.22	8.31
Turbo	2-lanes	-23.39	0.83	0.000	-25.43	21.34
	Flower	-6.27	0.83	0.000	-8.31	-4.22

## 5. 결론

본 연구에서는 향후 국내 도입이 증가할 것으로 예상되는 2차로 이상 회전교차로의 형태별 운영효과 및 안전성에 대한 평가를 실시하였다. 이를 위하여 미시교통시뮬레이션 프로그램인 VISSIM과 SSAM을 사용하였고, 다양한 교통량, 방향별 비율, 회전교차로 형태를 적용하여 분석을 실시하였다.

회전교차로 형태별 운영효과 분석결과, 2차로형 회전교차로 운영 시 평균지체가 가장 적게 나타났고, Flower형 회전교차로의 평균지체가 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 Turbo형 회전교차로와 Flower형 회전교차로는 연석, 차로분리 등의 물리적인 제약으로 인해 2차로형 회전교차로보다 평균지체가 높게 나타나는 것으로 판단된다. 그리고 회전교차로 형태와 상관없이 운영 효율은 우회전 교통량이 많은 경우 전체적으로 평균지체가 낮게 나타났다.

회전교차로 형태별 안전성 분석결과, 모든 교통상황에서 2차로형 회전교차로의 상충횟수가 가장 큰 것으로 나타났고, Flower형 회전교차로의 상충횟수가 전체적으로 가장 적은 것으로 파악되었다. 2차로형 회전교차로는 물리적인 제약이 적어 차로 변경형, 추돌형 상충의 발생이 용이하기 때문에 나타난 결과로 분석된다. 또한

우회전 교통량이 많은 경우 Flower형 회전교차로의 상충횟수가 가장 적어 안전성이 높은 것으로 나타났으나, 회전차로를 이용하는 교통량(좌회전, 직진 차량)이 증가함에 따라 Turbo형 회전교차로의 상충횟수가 가장 적은 것으로 나타났다.

운영효과 및 안전성 분석 결과에 대한 통계적인 검증을 수행한 결과, 유의수준 0.05에서 유의확률이 0.05보다 작아 회전교차로 형태별로 발생하는 평균지체 및 상충횟수의 차이가 통계적으로 유의한 것을 확인하였다.

향후에는 2차로 회전교차로에 횡단보도가 도입될 경우, 보행신호가 적용되어야 하며 이로 인한 영향에 대한 추가적인 분석이 필요하다고 판단된다. 그리고 다지교차로 및 주도로와 부도로 교통량의 불균등 등 실제로 발생할 수 있는 다양한 교통상황을 고려하여 추가적인 연구가 진행되는 노력이 요구된다.

## 감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0028693).

## REFERENCE

- Bared, J.G., Afshar, A.M., Using Simulation to Plan Capacity Models by Lane for Two- and Three-Lane Roundabouts, *Transportation Research Record*, Vol. 2096, pp.8-15, 2009.
- Corriere, F., Guerrieri, M., Performance Analysis of Basic turbo-Roundabouts in Urban Context, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 53, pp.622-632, 2011.
- Engelsman, J.C., Uken, M., Turbo Roundabouts as An alternative to Two Lane Roundabouts, *The 26th Annual Southern African Transport Conference 9*, pp.581-589, 2007.
- Flannery, A., Geometric Design and Safety Aspects of Roundabouts, *Transportation Research Record*, Vol.1751, pp.76-81, 2001.
- Fortuijn, L. G., Turbo Roundabouts Design Principles and Safety Performance, *Transportation Research Record*, Vol. 2096, pp.16-24, 2009.
- Isebrands, H., Crash Analysis of Roundabouts at high-Speed Rural Intersection, *Transportation Research Record*, Vol. 2096, pp. 1-7, 2009.
- Majed N. Al-Ghandour, Schroeder, B.J., Williams, B.M., Rasdorf, W.J., Conflict Models for Single-Lane Roundabout Slip Lanes from Microsimulation, *Transportation Research Record*, Vol. 2236, pp.92-101, 2011.
- Mauro, R., Branco, F., Comparative Analysis of Compact Multilane Roundabouts and Turbo-Roundabouts, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 136, Issue 4, pp.316-322, 2010.



- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korean Roundabout Design Guideline, 2010.
- Saccomanno F. F., Flavio Cunto, Giuseppe Guido, and Alessandro Vitale, Comparing Safety at Signalized Intersections and Roundabouts Using Simulated Rear-End Conflicts, Transportation Research Record, Vol.2078, pp.90-95, 2008.
- Song K. S., Evaluation and Application of Turbo Roundabout as an Alternative to Two-lane Roundabouts, Ajou University, Master's thesis, 2011.
- The Minister of Land, Infrastructure and Transport, Korea Highway Capacity Manual, 2013.
- Tollazzi, T., Rencelj, M., Turnsek, S., New Type of Roundabout : Roundabout with "Depressed" Lanes For Right Turning - "Flower Roundabout" , Promet - Traffic&Transportation, Vol.23, No.5, pp. 353-358, 2011.
- Transportation Research Board, NCHRP Report - 572 : Roundabouts in the United States, 2007.
- TRB, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington D.C., TRB, 2010
- Vasconcelos, L., Seco, A.B.A., Safety analysis of turbo-roundabouts using the SSAM technique, CITTA 6th Annual Conference on Planning Research, pp. 1-15, 2013.
- Yin, D., Qiu, T.Z., Comparison of Macroscopic and Microscopic Simulation Models in Modern Roundabout Analysis, Transportation Research Record, Vol. 2265, pp.244-252, 2011.