

회전교차로 주행 만족도 및 안전성 평가

남궁문* · 신회식** · 장태연***

NAMGUNG, Moon*, Shin, Hoe Sik**, Jang, Tae Youn***

Driving Satisfaction and Safety Assessment for Roundabout

ABSTRACT

This study empirically analyzes the relationships among the road and traffic experts' personal characteristics, the driving behavior and factors being expected to have an effect on the satisfaction about roundabout operation. The factors are drawn and grouped through the principle component analysis to clarify driving environment satisfaction on roundabout operation. Each group is named as personal attribute, driving behavior attribute, and satisfaction. After the variables are refined by confirmatory factor analysis, satisfaction model is developed with personal attribute and driving behavior attributes as exogenous variables and roundabout driving awareness and emotion attributes as endogenous variables. As a result, driving satisfaction of roundabout operation is directly influenced by delay reduction, safety improvement, capacity increase, sight improvement, severity accident reduction, and bicycle convenience and indirectly gender, age, driving time, and driving experience. Law obedience, driving concession, traffic sign obedience, and interposition do not statistically shows significant on satisfaction. As a result of Analytical Hierarchy Process (AHP), the turning radius of geometry and the driving behavior are important elements for roundabout safety.

Key words : Roundabout, Structural equation model, Principal component analysis, Safety assessment, AHP

초록

본 연구는 도로·교통전문가에 대한 개인속성 및 운전행태를 비롯한 회전교차로 주행경험에 따른 만족도에 영향을 미칠 것으로 예상되는 요인들을 분석하였다. 회전교차로의 주행환경 만족도 특성을 명확하게 규명하기 위해 주성분분석을 실시하여 구성요인을 추출하고 변수들을 3개의 요인으로 그룹화하였으며, 각 그룹을 만족요인속성, 운전행태속성, 개인속성으로 명명하였다. 변수들의 신뢰성과 타당성을 검증하기 위해 확인적 요인분석을 통하여 변수정제과정을 거친 후 회전교차로 주행성 인지와 만족요인속성을 내생잠재변수로, 개인속성과 운전행태속성을 외생잠재변수로 구조화한 회전교차로 주행환경 만족도 모형을 개발하였다. 모형 추정결과, 회전교차로 주행만족도는 차량지체 감소, 교통안전성 향상, 도로용량 증대, 도시미관 개선, 교통환경 개선, 심각사고 감소, 자전거 이용 편의 등 만족요인속성에 직접적인 영향을 받으며 성별, 연령, 운전시간, 운전경력 등 개인속성에 간접적인 영향을 받는 것으로 분석되었다. 교통법규 준수, 양보운전, 교통표지 준수, 끼어들기 운전 등 운전행태속성은 주행 만족도에 통계적으로 유의한 영향을 끼치지 못하였다. 그리고 AHP분석결과, 회전교차로 안전성 확보를 위해서는 기하구조의 회전반경과 운전자특성의 운전습관이 가장 중요한 요소로 선정되었다.

검색어 : 회전교차로, 구조방정식, 주성분분석, 안전성 평가, 계층분석법

* 정희원 · 원광대학교 토목환경공학과 (ngmoon@wku.ac.kr)

** 교신저자 · 전북대학교 도시공학과 (Corresponding Author · Chonbuk National University · truelies0001@hanmail.net)

*** 정희원 · 전북대학교 도시공학과 (jangty@jbnu.ac.kr)

Received July 31, 2013/ revised October 31, 2013/ accepted December 27, 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

유럽의 경우에는 1970년대에 회전교차로 건설이 본격화되어 프랑스의 경우 2010년 기준 30,000개 이상의 회전교차로를 운영하고 있으며, 회전교차로가 거의 없던 미국의 경우에도 1990년대 이후 정부 차원에서 회전교차로 건설을 장려하여 2011년까지 약 3,000개소를 설치하였다.

우리나라에서는 과거 도시부에 미국식 로터리를 설치하였으나, 1990년대에 처음 현대식 회전교차로가 소개되어 2000년대부터 간헐적으로 회전교차로를 설치하기 시작하였고 2009년부터는 교통운영체계선진화 사업의 일환으로 설치사업을 적극 추진하고 있다(Presidential Council on National Competitiveness 2009). 이에 2009년 100여개였던 회전교차로가 2012년 현재 269개소로 확대 설치운영되고, 향후 2022년까지 지형에 맞는 회전교차로 1,592개소를 설치해 나갈 계획이다. 행정안전부(2012)에서는 교통사고 발생건수 및 사망자수 감소, 통행속도 향상 등 교통안전과 교통소통 측면에 효과가 큰 것으로 회전교차로 추진성과를 발표하였다.

2000년대 후반 회전교차로가 도입이 본격화되면서 공학적 분석을 기반으로 회전교차로 효과성에 대한 연구는 활발히 진행되었으나, 회전교차로를 이용하는 운전자 특성이나 행태를 고려하고 회전교차로 주행 시 느끼는 감성요인 등 인적요인을 반영한 회전교차로 연구는 미비한 실정이다. 회전교차로는 회전차량 우선과 진입차량 양보를 기반으로 하나 아직까지 로터리 진입방식인 끼어들기에 익숙한 운전자들은 통행요령에 혼선을 겪고 있어 이로 인한 교통사고가 발생하고 있으며, 향후 국가 교통정책적으로 회전교차로가 증가함에 따라 회전교차로에서 교통사고 역시 늘어날 것이므로 안전성 확보를 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

연구는 먼저 회전교차로 주행 시 느끼는 만족도에 영향을 미치는 다양한 요인들을 고려한 회전교차로 주행환경 만족도 모형을 개발하고, 회전교차로 안전성과 관련하여 인적·물리적으로 구성된 평가요인을 결정 후 AHP분석을 통해 요인들의 우선순위를 선정한다. 향후 교차로 기하구조에 따른 주행성뿐만 아니라 감성적 측면에서의 주행성을 복합적으로 고려할 수 있는 운전자 중심의 안전하고 쾌적한 회전교차로 설계가 이뤄질 수 있도록 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다. 연구는 2부분으로 구성되며 회전교차로 주행환경 만족도 분석을 위해 개인속성과 운전태도속성 및 회전교차로 주행 경험에 의해 느끼는 감성요인에 해당하는 만족요인속성간의 인과관계를 구조방정식 모형을 이용한다. 또한, 회전교차로 설치운영에 따른 안전성 확보를 위한 평가요인의 우선순위를 선정하기 위해 다속성 의사결정기법 중 하나인 계층회분석기법(Analytic Hierarchy Process; AHP)을 이용한다. 연구의 흐름은 Fig. 1과 같다.

1.2 기존연구 고찰

회전교차로에 관한 연구를 크게 2가지로 구분하면 안전성, 지체 및 용량 등의 운영형태 개선효과에 대한 연구와 최근에 발표되고 있는 공학적인 접근을 통한 회전교차로 관련 모형개발 연구로 대부분 교통사고와 관련되어 있다. 회전교차로에 대한 교통사고 예측모형은 대부분 교통량 및 기하구조 등의 정량적인 독립변수들과 사고발생빈도의 종속변수와의 관계를 회귀분석법을 이용하여 제시하고 있다.

Kimber (1987)는 최대 진입교통류율과 회전교통류율간의 선형관계를 고려하여 회전교차로 용량 모형을 개발하였다. Jeon and Do (2003)은 진입용량과 중앙섬 직경, 회전차로폭, 회전교통류율 등 기하구조 변수간의 관계를 음이수 함수를 이용하여 회전교차로의 진입용량 모형을 구축하였다. Han et al. (2011)은 회전교차로 사고유형별 사고자료에서 사고심각도와 사고건수를 종속변수로 하여 독립변수인 교통량과 기하구조와의 관계를 포이송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 통해 사고모형을 구축하였다. Park and Park (2012)는 국내 회전교차로 중 3지와 4지 회전교차로를 대상으로 교통사고와 교통량, 횡단보도수, 신호유무, 회전차로수와의 관계를 다중선형회귀모형을 이용하여 사고모형을 개발하였다. Na and Park (2012)는 교차로 운행방법 위반과 안전거리 미확보를 종속변수로 교통량, 교차로 기하구조 등을 독립변수로 하여 ZAM을 이용한 원형교차로 원인별 사고모형을 개발하였다. Kim and Park (2012)는 사고건수와 EPDO를 내생(종속)변수로 하고 교통량, 교통운영조건, 기하구조 및 환경조건 요인을 외생(독립)변수로 하여 2단계최소자승(2SLS) 추정방법을 통해 회전교차로 사고모형을 분석하였다.

회전교차로 내에서 자전거 및 보행시설 운영과 관련한 연구로

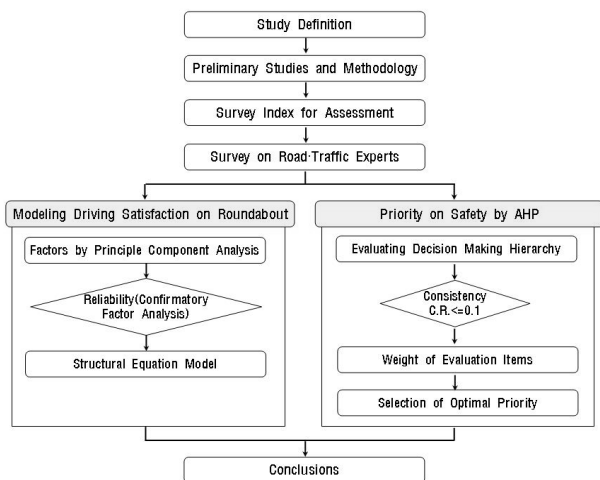


Fig. 1. Flowchart of Study

Daniels et al. (2008, 2009, 2010)는 회전교차로에서 자전거 이용의 효과성 및 사고안전을 다중회귀모형, 포와송 로그선형모형 등으로 분석하여 향후 회전교차로 내 자전거도로 설치의 가이드라인을 제시하고 있다. Bergman (2011)는 시뮬레이션 기법을 통해 회전교차로 내에서 보행자 횡단 시 효과적인 보행의 연속성을 분석하고 있다. 환경측면에서 Mandavilli et al. (2008)는 멈춤표지판으로 운영되는 교차로보다 현대식 회전교차로가 환경을 오염시키는 배기가스 감소에서 현저한 효과가 있음을 보여주었으며, Coelhod et al. (2006)는 차량의 지체도와 자전거 등의 잦은 정지빈도간의 상관관계를 분석하여 대기오염을 측정하였다. Chevallier (2009)는 회전교차로 상에서 소음과 관련한 모형을 구축하여 등고선 지도를 만들었으며 교통관련 정책의 반영을 제안하였다.

지금까지 회전교차로 연구에서는 대부분 회귀분석을 이용한 교통사고와 교통량 및 기하구조 등 물리적 요인과의 관계성을 규명하였다. 그리고 환경적 측면에서의 효과성에 대한 분석이 있었다. 본 논문은 도로교통전문가가 회전교차로 주행 혹은 설계 시 느끼는 만족도에 영향을 미치는 다양한 요인을 기초로 인적요인, 운전행태요인, 감성요인 등 정성적 지표를 활용하여 구조방정식 모형을 개발하고 회전교차로 안전성 확보를 위해 물리적요인 뿐만 아니라 인적요인을 감안하여 우선순위를 규명하였다는 점에서 차별성이 있다. 또한 대부분의 이용자 만족도에 관한 구조방정식 모형 개발 논문이 잠재변수 간에 직접효과만을 도출하는 것에 반해 본 논문에서는 간접효과까지 산출하였다는 점에서 특징이 있다 하겠다.

2. 설문조사

2.1 설문설계

회전교차로 안전성 향상을 위한 평가 모형 구축을 위해 설문설계를 실시하였다. 설문설계는 도로 이용자들의 운전행태 및 도로 설계 전문가적 경험 측면에서의 설계요소 등을 고려하여 다음과 같은 내용으로 구성 설계하였다.

구성 요소	내용
응답자 일반사항	성별, 연령, 운전시간 등
운전습관	교통법규 준수, 운전 행태
회전교차로 설계	수행경험, 설계주요 요소 등
회전교차로 운행	선호교차로, 운행행동 등
회전교차로 효과	차량지체감소 등 14개 항목(5점 척도)
회전교차로 안전성	안전성요소 등 5개 항목(쌍체비교)

2.2 설문조사 및 기초분석

2012년 11월부터 12월까지 회전교차로를 설계하고 주행경험이 있는 전국의 도로교통관련 박사, 교통기술사 및 교통관련기관 전문가 등 도로교통전문가 250명을 대상으로 우편설문을 실시하여 응답이 누락되어 있는 설문지를 제외한 총 226개의 표본을 대상으로 분석을 하였다. 조사된 도로교통전문가는 학계 8명, 도로교통전문기관 17명, 연구기관 5명, 공무원 8명, 도로교통관련업체 188명으로 평균 실무경력은 10년에 달하였다.

기초자료분석에서는 회전교차로 운행 시 느끼는 성별, 연령, 운전경력, 운전시간에 있어 만족도 차이를 t-test와 ANOVA분석(일원분산분석)을 이용하여 평가하였다.

Table 1과 같이 운전자 성별에 따른 만족도 분석결과, t값의 유의확률이 0.490으로 0.05보다 커 통계적 유의성이 없어 남성과 여성간 만족도에 대한 차이는 없는 것으로 나타났다. Table 2의 연령, 운전경력, 운전시간에 따른 만족도 분석결과, 연령과 운전 경력은 유의확률이 0.026과 0.007로 집단간 만족도 차이가 존재하였으나, 일일 총운전시간은 유의확률이 0.546으로 집단간 차이가

Table 1. Roundabout Satisfaction by Gender

Gender	Freq.	Satisfaction		
		Mean	t-value	p
Male	209	3.21	0.691	0.490
Female	17	3.06		

Table 2. Satisfaction by Age, Driving Experience and Time

Variable	Range	Freq.	Roundabout Satisfaction		
			Mean	Test	F-value
Age** (Yrs.)	0~29	16	3.25	A	3.148 (0.026)
	30~39	149	3.08	A	
	40~49	53	3.43	A	
	50+	8	3.62	A	
Driving Experience* (Yrs.)	0~5	34	3.00	A	3.659 (0.007)
	6~10	69	3.00	A	
	11~15	73	3.27	A	
	16~20	37	3.38	A,B	
Driving Time* (Min.)	21+	13	3.77	B	0.770 (0.546)
	0~30	71	3.21	A	
	31~60	88	3.11	A	
	61~120	45	3.22	A	
	121~180	16	3.31	A	
181+	6	3.67	A		

Note : *Duncan, **Dunnett T3; p-value within ()
A is Group A, B is Group B (Post-Hoc Test)

없는 것으로 분석되었다. 집단간 차이를 분석한 결과, 운전경력 15년이하 운전자와 21년 이상 운전자 집단간에는 만족도에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

3. 회전교차로 주행환경 만족도 모형개발

3.1 변수설정

Table 3은 기존연구 고찰에서 제시되고 있는 회전교차로와 관련한 요인들을 기초로 하여 선정된 변수를 보여주고 있다. 응답자 성별(Gender), 연령(Age), 1일 운전시간(Time), 운전 경력기간(Experience)은 명목척도로 분류하고, 회전교차로 운영에 대한 감성적 측면을 측정하기 위해 운전습관을 나타내는 법규준수 여부(Law), 양보운전(Concession), 끼어들기(Interposition), 표지준수(Sign), 지체감소효과(Delay), 안전성 향상(Safety), 도로용량증대(Capacity), 도로미관개선(Sight), 피로감소효과(Fatigue), 교차로 유지관리(Management), 접근성(Access), 환경개선효과(Environment), 충돌사고 감소효과(Collision), 심각한 사고 감소효과(Severity), 자전거 이용편의효과(Bicycle), 보행자 이동편의효과(Pedestrian)와 회전교차로 주행 만족도(Satisfaction) 등이 조사되었다. 만족도에 영향을 미치는 변수는 정성적인 변수이므로 정량화를 위해

5점 척도를 활용하여 서열척도로 분류하였다. 변수간의 인과관계분석을 위해 결과변수로는 회전교차로 주행 중 느끼는 전체적인 만족도가 활용된다.

3.2 모형설정

3.2.1 주성분분석의 개념

주성분분석이란 많은 양의 측정자료가 가능할 때 자료가 가지는 많은 정보의 손실 없이 몇몇 기능이나 측정단위로 축소하여 분석과 해석이 가능하도록 한 기법이다. 다수의 변수가 존재하는 미분화 다변량 질적자료를 분류하기 위해서는 수학적인 절차를 통해 이용 자료를 유용하게 처리해야만 한다. 회전교차로 주행만족도 요인처럼 미분화 정보의 집합을 분류, 정리하여 의미 있는 정보로 가공하는 상황은 외적기준이 없는 경우를 처리하는 절차라고 할 수 있으며, 이러한 경우에 유용한 수법이 주성분분석이다. 주성분분석은 여러 변수간의 상호관계로부터 공통변량을 구하고, 측정치의 중복성을 찾아내어 몇 개의 변수군을 추출해 내는데 사용한다. 연구는 설문에 의해 얻어진 요인들이 어떠한 형태로 구성되었는가를 알아내어 새로운 연구개념을 추구하고, 나아가 이론적 근거를 가지고 미리 설정한 인자가 연구개념에 적절하게 추출되었는지 확인하는데 이용된다.

Table 3. Variables

Variable	Contents	Mean
Gender	Gender(Male=1, Female=2)	1.08
Age	Age(Twenties=1, Thirties=2, Forties=3, Fifties+=4)	2.23(36.75 Yrs. Old)
Time	Driving Time in a Day(Minutes : 30-=1, 30~60=2, 60~120=3, 120~180=4, 180+=5)	2.11(68.82min.)
Experience	Total Driving Experience(Years : 5-=1, 5~10=2, 10~15=3, 15~20=4, 20+=5)	2.67(11.74yrs..)
Law	Traffic Law Obey(Strongly Disagree=1, Disagree=2, Normal=3, Agree=4, Strongly Agree=5)	3.88
Concession	Concession Driving(Same Above)	3.73
Interposition	Interposition Driving(Same Above)	2.46
Sign	Traffic Sign Obey(Same Above)	3.72
Delay	Traffic Delay Reduction Effect(Same Above)	3.70
Safety	Traffic Safety Improvement Effect(Same Above)	3.00
Capacity	Road Capacity Improvement Effect(Same Above)	3.29
Sight	Urban Sight Improvement Effect(Same Above)	3.74
Fatigue	Fatigue Reduction Effect(Same Above)	2.73
Management	Intersection Maintenance and Management Effect(Same Above)	3.13
Access	Adjacent Road Access Improvement Effect(Same Above)	3.38
Environment	Traffic Env.(Smoke and Noise) Improvement Effect(Same Above)	3.45
Collision	Right Angle and Front Collision Reduction(Same Above)	3.56
Severity	Serious Traffic Accident Reduction(Same Above)	3.49
Bicycle	Bicycle Usage Advantage Effect(Same Above)	2.27
Pedestrian	Pedestrian Movement Advantage Effect(Same Above)	2.32
Satisfaction	Roundabout Driving Satisfaction(Very Dissatisfy=1, Dissatisfy=2, Normal=3, Satisfy=4, Very Satisfy=5)	3.19

연구에서는 주성분분석을 사용하여 회전교차로 주행 만족도에 대한 의사결정인지를 그룹화하고, 그룹화 된 요인들에 대한 반응이 속성별로 어떠한 차이가 있는 지 분석한다.

3.2.2 구조방정식 모형

구조방정식 모형은 측정모형과 이론모형을 통해서 모형간의 인과관계를 파악하는 모형이다. 구성개념간의 이론적인 인과관계와 상관성의 측정지표를 통한 경험적 인과관계를 분석할 수 있도록 개발된 통계기법을 말한다. 인과분석을 위해서 요인분석과 회귀분석을 개선하여 결합한 형태라고 할 수 있다. 회전교차로 만족도 분석을 위한 구조방정식 모형의 측정변수간의 인과관계는 다음과 같다.

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (1)$$

여기서 실제 관측되지 않는 변수로서 η 는 내생잠재변수 벡터이고 ξ 는 외생잠재변수 벡터를 의미한다. B, Γ 는 계수 행렬, ζ 는 random 오차를 표시한 벡터이다. 내생개념은 다른 내생개념에 의해 예측될 수 있지만, 외생개념은 내생개념에 단지 인과적으로 관련된다. 각 이론변수가 어떠한 측정변수에 의해 측정될 것인가를 나타내는 모형으로서 실제 관측되는 외생잠재변수의 측정모형 x 와 내생잠재변수 측정모형 y 는 일반적으로 다음과 같으며, 여기서 A_x 와 A_y 는 계수벡터, δ 와 ϵ 는 오차항이다. 하나의 구조방정식과 2개의 측정방정식에 의해서 구조방정식 전체모형이 표시된다.

$$x = A_x \xi + \delta \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \lambda_{x21} & 0 \\ \lambda_{x31} & 0 \\ \lambda_{x41} & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & \lambda_{x62} \\ 0 & \lambda_{x72} \\ 0 & \lambda_{x82} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_7 \\ \delta_8 \end{bmatrix}$$

$$y = A_y \eta + \epsilon \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \lambda_{y21} & 0 \\ \lambda_{y31} & 0 \\ \lambda_{y41} & 0 \\ \lambda_{y51} & 0 \\ \lambda_{y61} & 0 \\ \lambda_{y71} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \\ \epsilon_4 \\ \epsilon_5 \\ \epsilon_6 \\ \epsilon_7 \\ \epsilon_8 \end{bmatrix}$$

모형이 주어진 경험자료에 잘 맞는지 평가할 수 있는 부합지수들이 있는데, 부합지수 중 어느 하나도 무조건 최고라고 내세울 수 있는 지수는 없으므로 가설화 된 모형에 대하여 가장 큰 장점과 작은 문제점을 가진 부합지수를 골라서 모형의 검정에 사용해야 한다. 기초부합치(GFI : goodness of fit index)는 표본 크기의 변화나 다변량 정규분포의 위반에 별로 영향을 받지 않으며, 제안모형의 적합도를 잘 표현해 준다. 표본크기 200이상에서 GFI가 적어도 0.9이상이어야 문제가 없다. 조정부합치(AGFI : adjusted goodness of fit index)는 GFI를 자유도에 대해 수정한 것이다. 권장수용수준은 0.9와 같거나 큰 값이 현실적인 지수이다. 표준부합치(NFI : normed fit index)는 가장 자주 응용되는 부합치로서 권장수용치는 0.90이상이다. 평균제곱근잔차(RMR : root mean square residual)는 분석자료의 행렬과 미지수들에 의해 재생산된 행렬간에 원소들의 차이를 보여주는 것으로 0.05이하이면서 0에 가까울수록 그 모델의 적합성이 좋다. 비교적합지수(CFI : comparative fit index)는 0.9이상이면서 1에 가까울수록 적합성은 좋다고 해석한다.

연구에서는 주성분분석에서 그룹화 된 변수를 토대로 회전교차로 주행성 인지에 영향을 주는 잠재속성간의 상호관계에 대한 모형구축과 부합도를 평가한다. 특정 외생변수가 특정 내생변수에 주는 영향은 직접적인 효과 외에 다른 변수를 통한 간접적인 효과가 존재할 수 있으므로 이러한 인과관계의 파악은 다양한 요소가 복합적으로 작용하는 회전교차로 주행 만족도 분석에서는 매우 중요하다.

3.3 주행 만족도 분석

3.3.1 주성분분석의 결과

모든 측정변수는 구성요인을 추출하기 위해 주성분 분석(principle component analysis)을 이용하였으며, 요인적재치의 단순화를 위하여 직교회전방식인 Varimax를 채택하였다. 요인적재량(factor loading)은 각 변수와 요인간의 상관관계의 정도를 나타내며 각 변수들은 요인적재량이 높은 요인에 속하게 된다. 고유값 기준 1.0이상을 기준으로 요인분석 결과 총 3개의 요인을 적용하였으며, 각 요인의 고유값은 주성분1이 4.225, 주성분2가 2.209, 주성분3이 1.864로 분석되었다.

Table 4는 20개 측정변수에 대해 주성분분석을 통하여 산출된 각 요인이 설명해 주는 고유치와 기여율을 보여준다. Table 5는 Varimax법에 의해 요인을 회전하여 계산한 결과로서 20개의 변수가 3개의 요인으로 묶여졌으며, 요인적재량이 모두 0.3이상의 수치를 보이고 있어 모든 변수는 통계적으로 분석에 활용이 가능하다. 모형에 대한 적합도 검정결과, Table 6과 같이 KMO값이 0.756으로 적당한 편이며 유의확률이 0.000(p<0.05)으로 요인분석 모형은

Table 4. Results of Factor Analysis

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.296	21.479	21.479	4.296	21.479	21.479	4.225	21.124	21.124
2	2.266	11.330	32.808	2.266	11.330	32.808	2.209	11.046	32.170
3	1.736	8.680	41.489	1.736	8.680	41.489	1.864	9.319	41.489
4	1.472	7.358	48.847						
5	1.135	5.677	54.524						
6	1.098	5.488	60.012						
7	0.933	4.664	64.677						
8	0.847	4.235	68.912						
9	0.790	3.950	72.862						
10	0.720	3.598	76.460						
11	0.682	3.412	79.872						
12	0.639	3.195	83.067						
13	0.578	2.889	85.956						
14	0.532	2.661	88.617						
15	0.501	2.506	91.123						
16	0.436	2.180	93.303						
17	0.402	2.011	95.314						
18	0.360	1.801	97.115						
19	0.310	1.549	98.663						
20	0.267	1.337	100.000						

Table 5. Rotated Factor Matrix

Variable	Attribute		
	Factor1 (Effect Factor)	Factor2 (Driver Behavior)	Factor3 (Personal Attribute)
Fatigue	0.703	0.010	0.145
Safety	0.699	-0.049	0.068
Delay	0.693	-0.171	0.058
Capacity	0.642	-0.132	0.091
Environ.	0.632	-0.092	-0.099
Management	0.556	-0.115	0.024
Access	0.556	0.054	0.124
Bicycle	0.548	0.197	-0.093
Severity	0.545	0.072	0.018
Collision	0.529	0.174	-0.117
Pedestrian	0.474	0.264	0.085
Sight	0.363	-0.011	0.037
Law	0.012	0.789	-0.093
Concession	0.170	0.758	-0.010
Sign	-0.010	0.740	0.083
Interposition	0.133	-0.478	0.088
Age	0.162	-0.094	0.747
Experience	0.141	0.047	0.744
Time	-0.031	0.024	0.585
Gender	0.049	0.082	-0.540

Note : Extraction Method - Principle Component Analysis, Rotation Method - Varimax of Kaiser Normalization

Table 6. Test of KMO and Bartlett

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy	0.756
Bartlett's Test of Sphericity Approx. Chi-square(Sig.)	1,157.083(0.000)

적합하다.

주성분1은 운전자 피로감소, 교통안전성 향상, 차량지체 감소 등 회전교차로 주행 시 운전자가 느끼는 만족도에 영향을 미치는 요인으로 구성되어 만족요인 속성으로 명명하였다. 만족요인속성은 실제 회전교차로 주행 실험이나 현장조사에 의해 측정된 요인이 아니라, 운전자가 주행경험에 의해 느끼는 이미지를 바탕으로 한 감성요인에 해당한다.

주성분2는 교통법규 준수, 양보운전 여부, 교통표지 준수, 끼어들기 운전 등과 같이 운전태도에 대한 변수로 구성되어 운전행태 속성으로 명명하였다. 마지막으로 주성분3은 연령, 운전경력, 운전 시간, 성별 등 도로교통전문가의 개인속성에 대한 변수로 구성되어 개인속성으로 명명하였다.

3.3.2 확인적 요인분석

주성분분석에 의해 구분된 요인별로 각 개념의 측정변수들이

단일요인 모델에 의해 수용가능 한 적합도를 보이는 지를 판단하기 위해 확인적 요인분석을 수행하였으며, 단일 차원성을 저해하는 항목을 제거하였다.

모델추정 방법으로 최대우도법(MLE : maximum likelihood estimation), 일반최소자승법(GLS : general least square), 비가중 최소자승법(ULS : unweighted least square), Browne의 점근분포 자유법(ADF : asymptotically distribution free) 등이 있으나, 본 논문에서는 측정변수가 다변량 정규분포를 따를 때 정확한 미지수의 추정이 가능하며 자료에 결측치가 없을 때 일반적으로 이용하는 최대우도법을 적용하였다.

Tables 7 and 8은 확인요인분석에서 인과계수의 결과 및 모형 적합도 검정결과이다. 도로교통전문가의 개인속성 요인에 해당하

Table 7. Estimates of Confirmatory Factor Analysis

Attribute	Variable	Estimate	S.E.	C.R.	p
Driver	Experience	1.000	-	-	-
	Time	0.481	0.119	4.060	0.00
	Age	0.541	0.114	4.747	0.00
	Gender	-0.107	0.030	-3.581	0.00
Driving Behavior	Law	1.000	-	-	-
	Concession	0.912	0.129	7.093	0.00
	Sign	0.871	0.126	6.926	0.00
	Interposition	-0.490	0.116	-4.233	0.00
Emotion	Delay	1.000	-	-	-
	Safety	0.755	0.087	8.692	0.00
	Capacity	0.804	0.082	9.828	0.00
	Sight	0.213	0.079	2.693	0.01
	Environ.	0.564	0.082	6.841	0.00
	Severity	0.492	0.092	5.357	0.00
	Bicycle	0.416	0.083	5.032	0.00

Note : S.E(Standard Error), C.R.(Critical Ratio)=Estimate/S.E.

Table 8. Results of Fit Indexes

Criterion		Driver	Driving Behavior	Satisfaction	
		Initial (Final)	Initial (Final)	Initial	Final
χ^2	-	1.239	2.982	259.750	23.538
p-value	p>0.05	0.538	0.225	0.000	0.052
RMR	≧0.05	0.008	0.021	0.80	0.039
GFI	≧0.9	0.997	0.994	0.843	0.969
AGFI	≧0.9	0.987	0.968	0.774	0.938
CFI	≧0.9	1.000	0.994	0.722	0.968
NFI	≧0.9	0.987	0.981	0.677	0.926

는 성별, 연령, 운전시간, 운전경력 변수 모두 t값(C.R.값)이 ±1.96 이상으로 통계적으로 유의하였으며, 모델 적합도 검정결과 적합한 것으로 분석되었다. 운전행태속성 요인의 법규준수, 양보운전, 표지 준수, 끼어들기

변수 역시 모두 t값(C.R.값)이 ±1.96이상으로 통계적으로 유의하였으며, 모델 적합도 검정결과 적합한 것으로 분석되었다. 만족요인에 해당하는 모든 변수의 t값(C.R.값)이 ±1.96이상으로 통계적으로 유의하였으나, 모델 적합도 검정결과 보행자, 충돌사고, 접근성, 유지관리, 피로감소 등 5개 변수를 제거하여야 모델 적합도 기준치에 부합하는 것으로 분석되었다.

3.3.3 구조방정식 모형의 분석

Table 9는 의사결정인자를 위한 구성요소분석과 단일 차원성을 저해하는 항목제거를 위한 확인적 요인분석 결과로서 회전교차로 주행 만족도 분석에 사용될 측정 및 잠재 변수를 보여준다. 외생변수는 개인속성, 운전행태속성이 포함되고 내생변수는 만족속성 및 회전교차로 주행성 인지가 속한다. 잠재변수 주행성 인지에 대한 변수상호간의 직접적인 인과관계를 Fig. 2가 보여주며, 다음과

Table 9. Final Variable for Structural Equation Model

Latent Variable		Measurement Variable
Exogenous Variable	Personal Attribute	Gender, Age, Time, Experience
	Driving Behavior Attribute	Law, Concession, Sign, Interposition
Indogenous Variable	Emotion Attribute	Delay, Safety, Capacity, Sight, Severity, Bicycle
	Roundabout Driving Awareness	Satisfaction

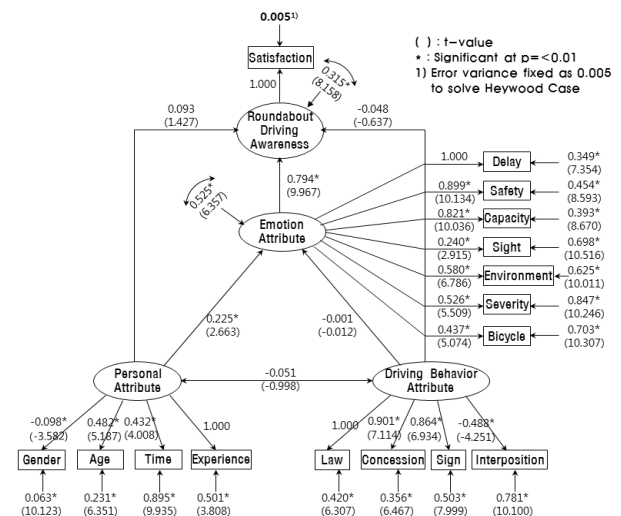


Fig. 2. Result of Structural Equation Model

같이 해석 할 수 있다.

첫째, 도로교통전문가의 개인속성인 성별, 연령, 운전시간, 운전 경력의 추정계수와 t값을 분석할 때, 잠재변수인 개인속성에 대해 통계적 유의성을 보이고 있으며, 특히 성별은 음(-)의 계수값을 보여 남성이 여성보다 개인속성에 영향을 더 미치는 것으로 나타났다. 둘째, 교통법규 준수 및 운전태도를 나타내는 교통법규와 양보운전이 잠재변수인 운전행태속성에 대해 추정계수와 t값이 높게 분석되어 잠재변수를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 이는 올바른 운전행태는 교통법규 준수여부와 양보운전 여부가 좌우한다 하겠다. 셋째, 도로교통전문가가 회전교차로 주행경험에 의해 느끼고 있는 이미지를 바탕으로 한 만족요인속성은 차량지체감소, 교통안전성 향상 및 도로용량증대를 나타내는 지체감소, 안전성, 용량증대 요인이 추정계수와 t값이 다른 만족요인에 비해 높게 나타나 도로교통전문가가 느끼는 주행만족도에 가장 크게 영향을 주는 요인으로 분석되었다.

설문결과에서는 미관개선, 지체감소, 충돌사고감소, 심각사고감소 순으로 회전교차로의 효과성에 대해 응답하여 회전교차로는 일반교차로에 비해 도시미관개선과 차량지체감소에 효과가 있는 것으로 판단되나, 회전교차로의 만족도를 높이기 위해서는 도시미관과 같은 심미적인 요소보다는 차량지체감소, 교통안전성 향상, 도로용량증대 등 신속성과 안전성과 같은 통행비용감소에 영향을 주는 요소가 중요하다. 넷째, 외생잠재변수인 개인속성과 운전행태속성의 추정계수와 t값을 분석할 때 개인속성이 내생잠재변수인 만족요인속성에 대해 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 통계적으로 중요치 않은 운전행태속성은 만족요인속성에 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 이는 연령이 높고 운전시간이 길며 운전경력이 많은 도로교통전문가일수록 만족요인에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다. 다섯째, 개인속성과 운전행태속성의 내생잠재변수이자 회전교차로 주행성인지의 외생잠재변수인 만족요인속성은 추정계수와 t값이 높게 나타나서 주행 만족도를 양호하게 설명하고 있다. 이는 차량지체감소, 교통안전성 향상, 도로용량증대, 도시미관개선, 교통환경개선, 심각사고 감소, 자전거 이용이 편리한 회전교차로 일수록 주행 만족도가 높다는 것을 의미한다. 통계적으로 유의하지 않은 개인속성 잠재변수의 경우 회전교차로 주행성인지에 양(+)으로 작용하고 있어, 여성보다는 남성이, 연령이 높을수록, 운전시간이 많을수록, 운전경력이 길수록 만족도는 증가한다. 즉, 회전교차로 주행경험이 많을수록 주행 만족도가 높다고 판단할 수 있다. 운전행태속성 잠재변수의 경우 회전교차로 주행성인지에 약하게 음(-)으로 작용하고 있어 운전태도나 습관이 양호하지 못할수록 회전교차로 주행 만족도는 증가한다.

개인속성과 운전행태속성은 회전교차로 주행성 인지에 대해 직접효과 외에 만족요인 속성을 통해 간접적인 효과를 주어 이에

대한 간접효과를 분석한다. 예를 들어 Fig. 3과 같은 경로가 주어졌을 때 외생변수 x_1 이 내생변수 y_3 에 미치는 간접효과는 공식에서처럼 표현된다.

$$y_3 \text{ 간접효과} = (\gamma_{11}\beta_{21}\beta_{32} + \gamma_{21}\beta_{32}) \quad (4)$$

x_1 : 외생변수,

y_1, y_2, y_3 : 내생변수

Table 10은 잠재속성간의 간접효과와 결과로서 개인속성은 통계적 유의성과 함께 양(+)의 계수값을 보이고 있어 연령, 운전시간, 운전경력의 증가는 회전교차로 주행시 느끼는 만족도에 대해 간접적인 증가효과를 주고 있다. 회전교차로 주행만족도는 지체감소, 안전성, 용량증대, 미관개선, 환경개선, 심각사고, 자전거 등 만족요인속성에 직접적 영향을, 성별, 연령, 운전시간, 운전경력 등 개인속성에 간접적 영향을 받는 것으로 분석되었다. 교차로 기하구조 및 교통시설물 요인과 관련하여 차량지체감소, 교통안전성 증대, 도로용량 증대, 도시미관과 교통환경 개선, 대형 교통사고 감소, 자전거이용 편리성 등을 갖추어 설계·시공되어진 회전교차로일수록 도로이용자의 주행 만족도를 향상시킨다. 도로교통전문가 인적요인과 관련하여 남성일수록, 연령이 높을수록, 운전시간이 길수록,

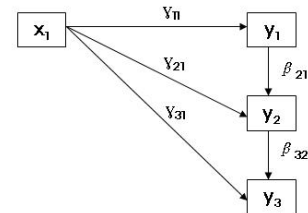


Fig. 3. Example of Effectiveness

Table 10. Indirect Effects Between Attributes

Attribute	Driver*	Driving Behavior
Roundabout	0.179	-0.001
Driving Awareness	(p=0.010)	(p=0.799)

*Significant at p<0.05

Table 11. Fitness Index Assessment

	Criterion	Fitness Index	Fit
Chi-Square	p>0.05	122.515(p=0.055)	yes
RMR	=<0.05	0.041	yes
GFI	>=0.9	0.936	yes
AGFI	>=0.9	0.912	yes
CFI	>=0.9	0.966	yes
NFI	>=0.9	0.848	No

운전경력이 많을수록 즉, 교통노출이 많은 운전자가 주행 만족도가 높은 것으로 분석되었다.

잠재속성들의 인과관계구조에 대한 설명력을 확인하기 위해 전반적인 적합도 평가를 Table 11에서 보여준다. 카이제곱치는 122.515, 확률치는 0.055로 산정되었으며, GFI, AGFI, CFI 모두 0.9이상으로 기준치에 부합되어 모형 적합도는 수용가능한 수준이라고 평가할 수 있다.

4. 회전교차로 안전성 확보

4.1 AHP 분석방법

연구에서 적용한 AHP 분석방법은 1970년대초 Tomas L. Saaty에 의해 제안된 기법으로서, 현재까지 전문가들을 대상으로 의사결정을 하는 문제에 있어 가장 널리 사용되고 있는 방법론이다. 먼저 회전교차로 안전성 확보를 위해 고려해야 할 평가항목을

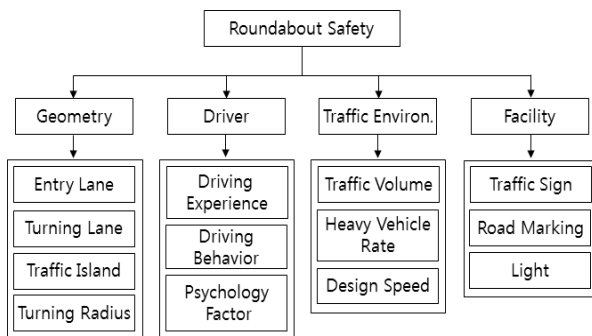


Fig. 4. Decision Making Hierarchy for Roundabout Safety

결정하고 의사결정 모델 계층구조를 구성하였다. 구성된 계층구조를 바탕으로 평가요소들 간의 상대적 중요도를 구하기 위해 도로교통전문가를 대상으로 한 쌍대비교 설문조사를 통해 가중치를 부여하고 최적의 우선순위를 선정하였다. 각 평가요소의 쌍대비교는 Saaty (1980)가 제안한 9점 비율척도로 하였으며, Expert Choice 프로그램을 사용하였다.

연구에서는 회전교차로 안전성 평가를 위한 평가항목으로 기하구조와 교통시설물 등 회전교차로 설계요소와 교통환경 등 물리적 요소 및 운전자 특성과 관련된 인적요소를 검토하여 의사결정모델 계층구조를 Fig. 4에 제시하였다.

4.2 평가항목의 가중치 도출

Saaty (1980)의 합리적 일관성 비율(CR : Consistency Ratio) 기준을 적용하기 위해 일관성 비율이 0.1이하인 자료만 사용하였다. 따라서 각각의 쌍대비교 질문항목별로 응답자 개별 분석을 실시하여 일관성 비율이 0.1을 초과하는 항목의 가중치 결과값은 분석에서 제외하였다. 회전교차로 안전성 확보를 위해 고려해야 할 상위계층 구조인 기하구조, 운전자특성, 교통환경, 교통시설물 요인에 대해 중요도를 분석한 결과, Table 12와 같이 기하구조, 교통시설물, 운전자특성, 교통환경 순으로 분석되었다. 하위계층 평가항목에서는 회전반경을 가장 중요한 요소로 생각하였으며, 그 다음으로 운전습관과 회전차로 순으로 선정하였다. Seo et al. (2012)에 따르면 일반 교차로에서도 안전성 확보 시 가장 중요한 요소로 운전자 행동 중 심리적요인과 과속행동을 제시하고 있다. 이와 같이 회전교차로 안전성 확보에 있어 운전습관과 같은 운전자 인적요인이 매우 중요한 요소임을 알 수 있다. 따라서 회전교차로

Table 12. Importance of Roundabout Safety

High Level	Low Level	Importance	Final Impotance	Priority	CR
Geometry (Importance : 0.386)	Entry Lane	0.213	0.082	6	0.037
	Turning Lane	0.274	0.106	3	
	Traffic Island	0.145	0.056	9	
	Turning Radius	0.368	0.142	1	
Driver (Importance : 0.205)	Driving Experience	0.174	0.036	13	0.011
	Driving Behavior	0.534	0.110	2	
	Psychology Factor	0.292	0.060	8	
Traffic Environment (Importance : 0.197)	Traffic Volume	0.496	0.098	4	0.010
	Heavy Vehicle Rate	0.225	0.044	12	
	Design Speed	0.279	0.055	10	
Facility (Importance : 0.212)	Traffic Sign	0.332	0.070	7	0.006
	Road Marking	0.416	0.088	5	
	Light	0.252	0.053	11	

Note : Consistency Ratio of High Level - 0.031

안전성 확보를 위해서는 무엇보다도 회전교차로의 회전부 회전반지름, 진출입부 회전반지름과 같은 회전반경을 충분히 확보하고 양보운전을 비롯한 규정속도, 교통안전표시, 노면표시 준수와 같은 올바른 운전습관이 함양될 수 있도록 공공기관의 다양한 교육과 홍보가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

연구에서는 회전교차로 주행 시 느끼는 만족도에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 회전교차로 주행성 인지와 만족요인속성을 구조방정식모형의 내생잠재변수로, 개인속성과 운전행태속성을 외생잠재변수로 설정하여 모형을 추정하였다. 잠재변수들을 설명하기 위한 관측변수에는 성별, 연령, 운전시간, 운전경력, 법규준수, 양보운전, 표지준수, 끼어들기, 지체감소, 안전성, 용량증대, 미관개선, 환경개선, 심각사고, 자전거, 주행만족도 등 총 16개 변수가 포함되었으며, 도로교통전문가를 대상으로 한 설문조사 데이터 226개를 표본으로 이용하였다.

모형 추정결과, 회전교차로 주행만족도는 지체감소, 안전성, 용량증대, 미관개선, 환경개선, 심각사고, 자전거 등 만족요인속성에 직접적인 영향을 받으며 성별, 연령, 운전시간, 운전경력 등 개인속성에 간접적인 영향을 받는 것으로 분석되었다. 특히 만족요인속성 중에서는 차량지체 감소, 교통안전성 향상, 도로용량 증대를 나타내는 변수인 지체감소, 안전성, 용량증대 요인이, 도로교통전문가 개인 속성에서는 총 운전경력 기간을 나타내는 운전경력 요인이 해당 잠재변수에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

회전교차로 안전성 확보에 영향을 미치는 평가요인들 간의 우선순위 선정을 위한 AHP 분석결과, 회전교차로 안전성 확보를 위해서는 회전교차로 기하구조의 회전반경과 운전자특성의 운전습관이 가장 중요한 요소로 선정되었다.

따라서 회전교차로 상의 교통사고를 줄이기 위해서는 회전교차로 설계 시 회전반경을 충분히 확보하고 올바른 운전습관이 정착될 수 있도록 관계당국은 운전자 교육 및 홍보에 힘써야 할 것으로 보인다. 국가 교통정책적으로 회전교차로 설치가 늘어나는 추세이므로 향후 본 연구의 결과는 회전교차로와 관련된 교통안전정책 및 개선방안 수립 시 평가 지표로 활용 가능할 것으로 판단된다.

마지막으로 본 연구는 설문항목이 일부 도로교통 전문지식을 요구함에 따라 설문조사 대상을 도로교통전문가로 한정함으로써 다양한 계층을 반영하지 못하였으며, 모형 개발에 있어 회전교차로의 회전차로수, 회전반경 등 기하구조 및 교통시설물 등 실제 도로환경요인과 관련된 많은 변수들이 포함되지 못한 한계가 있다. 따라서, 향후에는 회전교차로 주행환경 만족도 모형구축을 위해 직업, 교통사고 횟수, 회전교차로 기하구조, 교통시설물 등 다양한 변수에

대한 분석이 필요하며 회전교차로에서 발생한 교통사고 데이터 및 실제 회전교차로 주행 시 운전자들이 느끼는 생리적 현상을 실험으로 파악하여 본 연구에서 제시한 결과들에 대한 검증 및 비교에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 일반연구지원사업의 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다(과제번호 : 2012R1A1A4A01014414).

References

- Han, S. S., Kim, K. H. and Park, B. H. (2011). "Accident models of circular intersections by type in Korea." *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 13, No. 3, pp. 103-110 (in Korean).
- Hong, G. Y., Lee, S. B., Lim, J. B., Kim, J. W. and Kang, W. E. (2010). "The development of customer satisfaction model by traffic information provision media." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 28, No. 3, pp. 109-117 (in Korean).
- Jang, T. Y. (2002). "Analysis on traffic accident exposure based on reciprocal relationships of latent characteristics." *Journal of the Korean Regional and Development Association*, Vol. 14, No. 2, pp. 77-94 (in Korean).
- Jeon, W. H. and Do, C. W. (2003). "Analysis of the entry capacity of roundabouts." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 21, No. 3, pp. 59-69 (in Korean).
- Jo, H. C. (1999). *Structural equation modeling by LISREL*, Sukjung (in Korean).
- Kang, B. S. (1993). *Multi-variate statistic analysis*, Hakhyunsa (in Korean).
- Kang, Y. S. (1995). *Social state analysis challenge* (Multivariate Interpretation), Nanam (in Korean).
- Kim, K. H. and Park, B. H. (2012). "Simultaneous equation models for evaluating roundabout accidents according to different driving types." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 30, No. 5, pp. 3-10 (in Korean).
- Ministry of Land and Marine. (2010). *Roundabout design criteria* (in Korean).
- Ministry of Public Administration and Security. (2012). *Report for outcome of roundabout* (in Korean).
- Na, H. and Park, B. H. (2012). "Accident models of circular intersection by cause using ZAM." *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 14, No. 2, pp. 101-108 (in Korean).
- Park, M. G. and Park, B. H. (2012). "Accident analysis of 3-legged and 4-legged roundabouts." *Journal of The Korean Society of Safety*, Vol. 27, No. 3, pp. 161-166 (in Korean).
- Seo, L. G., Park, J. J., Lee, B. J. and Namgung, M. (2012). "Priority

- section of intersection improvement using the AHP method.” 2012 Conference, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, pp. 2179-2182 (in Korean).
- Son, J. C., Park, D. H., Kim, T. H. and Jung, Y. G. (2011). “Introduction to Korean roundabouts design.” *Transport Technology and Policy*, Vol. 8, No. 2, pp. 49-51 (in Korean).
- Song, G. J. (2008). SPSS/AMOS Statistic analysis method for thesis, 21Segisa (in Korean).
- Presidential Council on National Competitiveness. (2009). Roundabouts activation plan for green transport (in Korean).
- Bergman, A., Olstam, J. and Allström, A. (2011). “Analytical traffic models for roundabouts with pedestrian crossings.” 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 16, pp. 697-708.
- Coelho, M., Farias, T. and Roupail, N. (2006). “Effect of roundabout operations on pollutant emissions.” *Transportation Research Part D*, Vol. 11, pp. 333-343.
- Chevallier, E., Leclercq, L., Lelong J. and Chatagnon, R. (2009). “Dynamic noise modeling at roundabouts.” *Applied Acoustics*, Vol. 70, pp. 761-770.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. and Wets, G. (2009). “Injury crashes with bicyclists at roundabouts: Influence of some location characteristics and the design of cycle facilities.” *Journal of Safety Research*, Vol. 40, pp. 141-148.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. and Wets, G. (2010). “Explaining variation in safety performance of roundabouts.” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 42, pp. 393-402.
- Daniels, S., Nuyts, E. and Wets, G. (2008). “The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study.” *Accident Analysis Prevention*, Vol. 40, pp. 518-526.
- Joreskog. K. G. and Sorbom, D. (1995). *LISREL 8, Scientific software international, Inc., Chicago*.
- Kimber, R. M. (1987). *Capacity analysis of roundabouts*.
- Mandavilli, S., Rys, M. and Russell, E. (2008). “Environmental impact of modern roundabouts.” *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 38, pp. 135-142.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*, McGraw- Hill, New York.
- Wiley, D., Schmidt, W. and Bramble, W. (1973). “Studies of a class of covariance structure models.” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 68, No. 342, pp. 317-323.