

구조방정식 모형을 이용한 주중과 주말의 고속도로 사고심각도 비교분석

배윤경* · 안선영** · 정진혁***

Bae, Yun Kyung*, Ahn Sunyoung**, Chung, Jin-hyuk***

Analysis on Comparison of Highway Accident Severity between Weekday and Weekend using Structural Equation Model

ABSTRACT

In order to identify and understand the crucial factors to induce traffic accident, causal relationships between diverse factors and traffic accident occurrence have been investigated continuously. It is one of most important issues all over the world to reduce the number of traffic accidents and deaths by them. Korea government is also stepping up their effort to reduce the number of traffic accidents and mitigate the severity of the accidents by establishing various traffic safety strategies. By introducing the five-day work week and increasing concern of leisure activities, the differences of trip characteristics between weekday and weekend is getting greater. According to this, the patterns and crucial factors of traffic accident occurrence in weekend appear differently from those in weekday. This study aims to understand major different factors affecting accident severity between weekday and weekend using 12,042 incident data occurred on freeways of Korea from 2006 to 2011. The model developed in this study estimated relationships among various exogenous factors of traffic accident by each type using SEM(Structural Equation Model). The result provides that road factors are related to the accident severity for weekday model, while environment factors affects on accident severity for weekend.

Key words : Traffic accident, Severity, SEM, Highway, Weekend

초 록

교통사고를 감소시키고 안전성을 향상시키기 위해, 사고에 영향을 미치는 요인들을 분석하여 교통사고를 예측하는 모형은 지속적으로 개발되어 왔다. 교통사고 감소와 사고 사망자 감소에 대한 문제는 선진국과 후진국 모두 중요한 문제로서, 우리나라에서는 매해 교통사고 감소를 위한 정책 및 방안을 제시하고 있다. 주 5일제 시행과 여가활동에 대한 관심의 증가로 주중과 주말의 통행패턴은 다른 형태를 지니고 있으며, 교통사고의 특성도 마찬가지로 다르게 나타난다. 본 연구에서는 주중과 주말의 사고 심각도에 미치는 요인이 다름에 대하여 분석하였으며, 이는 고속도로에서 발생한 5년 동안의 사고자료를 구조방정식 모형을 이용하여 분석하였다. 모형의 추정결과 주중 사고 심각도 모형은 도로 요인이 사고 심각도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 주말 사고 심각도 모형은 운전자 요인이 사고 심각도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 주중과 주말 사고의 원인 차이를 나타냈다.

검색어 : 교통사고, 심각도 모형, 구조방정식, 고속도로, 주말

* 정희원 · 교신저자 · 연세대학교 공과대학 스마트공간연구원 전문연구원, 공학박사
(Corresponding Author · Yonsei University · honghong@yonsei.ac.kr)

** 연세대학교 공과대학 도시공학과 석사과정 (sy-ann@hanmail.net)

*** 정희원 · 연세대학교 공과대학 도시공학과 교수, 공학박사 (jinchung@yonsei.ac.kr)

Received June 21, 2013/ revised June 24, 2013/ accepted June 27, 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 교통사고 건수는 매해 감소하는 추세를 나타내고 있지만, 주요 선진국에 비해서는 여전히 높은 실정이다. 교통사고 감소와 사고 사망자 감소에 대한 문제는 선진국과 후진국 모두 중요한 문제로서, 우리나라에서는 매해 교통사고 감소를 위한 정책 및 방안을 제시하고 있다. 주 5일제 시행과 여가활동에 대한 관심의 증가로 주중과 주말의 통행패턴은 다른 형태를 지니고 있으며, 교통사고의 특성도 마찬가지로 다르게 나타난다. 경찰청 통계에 의하면 2011년 우리나라 도로에서 발생한 전체 사고 건수는 221,711건이며, 주말인 토요일과 일요일에 발생한 사고는 62,638건으로 일주일 평균보다 큰 수치를 나타내며, 특히나 사망사고는 일주일 평균인 747건보다 높은 수치를 나타낸다. 대형교통사고 통계에서는 주중사고를 모두 합친 정도의 사고건수가 주말에 발생하였으며, 사망사고의 경우 주중 발생한 사고건수인 57건보다 높은 수치인 71건이 주말에 발생하였다. 이는 주중과 주말의 통행패턴 특성이 다르고, 교통사고 심각도에 미치는 요인이 다르다는 것을 의미하며 주중과 주말의 사고관리의 차별화의 필요성을 말해주고 있다. 또한 주말의 통행은 주중통행과 다르게 대부분 여가통행의 성격이 강하기 때문에 운전자의 행태나 익숙하지 않은 도로 상황 등에 따른 사고원인이 클 것으로 생각된다.

본 연구에서는 고속도로 사고자료를 이용하여 주중과 주말의 사고 심각도에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 사고건수와 함께 사고의 심각도는 중요하게 인식되는 지표이며, 도로의 기하구조나 운전자 행태, 차종, 날씨 등 많은 요인들에 의해 직·간접적인 영향을 받을 것으로 판단된다. 이러한 요인들이 복잡한 관계를 가지면서 사고의 심각도에 영향을 미칠 것으로 보이며, 구조방정식 모형은 이러한 변수들의 관계를 규명하는데 적합한 모형으로 판단되어 본 연구에서 사용하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 2006년부터 2010년까지 고속도로에서 발생한 사고자료를 이용하여 주중과 주말의 사고 심각도에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 고속도로에서 발생한 자료는 관할지사, 일자, 시간, 노선, 위치, 방향 등의 사고에 관한 구체적 사항을 기록하여 관리하고 있다. 주중의 사고건수는 8,152건, 주말의 사고건수는 3,530건으로 집계되었으며 전체 사고건수는 12,042건이다. 분석대상 고속도로는 경부선, 경인선, 제2경인선, 영동선, 서울외곽순환선, 중부선, 제2중부선, 서해안선 등 총 24개 전국의 고속도로이다. 모형은 구조방정식을 적용하여 추정하였으며, AMOS 20 프로그램을 이용하였다. 사고의 심각도에 미치는 요인은 다른 사고 구조방정

식 모형에서 사용해진 것처럼 도로요인, 운전자 요인, 환경요인으로 구분하여 각 요인들을 대표할 수 있는 변수들을 선정하였다.

2. 관련 연구고찰

교통사고에 관한 연구는 오래전부터 지속적으로 이루어져왔으며, 그 원인을 분석하여 개선하고 관리하기 위한 노력은 활발하게 이루어졌다. 다양한 분석방법과 자료를 이용하여 사고를 예방하기 위한 연구들이 진행되었다. 국토연구원(1996)의 연구에서는 교통안전과 관련이 있는 도로 기하구조 요소들을 도출하였다. 차로폭, 곡선반경, 선형의 연속성, 종단경사, 시거, 길어깨폭, 중앙분리대의 7가지 도로기하구조 요인을 교통사고의 주요영향요인으로 선정하였다. 이 7가지 요인에 대하여 상대적인 사고위험도를 나타낼 수 있는 사고위험도 판단지수를 종속변수로 채택하여 단순회귀모형을 추정하였다. 박효신(2007)은 교통량, 도로 기하구조 등과 같은 교통사고 요인들과 교통사고와의 관계를 분석하였다. 분석의 대상 지역은 고속도로의 트럼펫 인터체인지를 분석대상으로 하였으며 사고모형은 음이항분포를 적용하여 연결로의 형태별로 음이항 회귀모형을 추정하였다. 모형에 이용된 변수는 교통량, 중차량 비율, 도로의 곡률 및 곡선장, 유출입여부 등이며 이러한 변수들과 사고는 관련이 있음을 보였다.

이주연(2008)은 구조방정식 모형을 이용하여 고속도로의 교통사고 심각도에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 사고 심각도를 구조모형의 내생잠재변수로 선정하고, 도로 요인 및 운전자 요인, 환경 요인을 외생 잠재변수로 설정하여 모형을 개발하였다. 추정 결과, 평면선형과 종단구배, 노면상태 및 날씨는 사고 심각도와 음의 관계에 있는 것으로 나타났으며, 주야와 원인차 차종, 운전자 연령대는 사고 심각도와 양의 관계에 있는 것으로 나타났다. 김상록(2010)은 단속류 시설에서 발생한 교통사고 유형을 차대차 사고와 차대 사람 사고로 구분하여 사고의 주요인을 구조방정식 모형을 이용하여 분석하였다. 서울시 서대문구에서 발생한 교통사고 자료를 분석하였으며 교통사고 심각도와 외생적 변수들간의 관계를 추정하였다. 차대차 사고에서는 도로 요인이 영향을 미치고, 차대 사람 사고에서는 환경적 요인이 크게 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

특히나 주말과 주중의 사고에 관한 연구들과 공휴일 사고에 관한 연구들도 다양하게 진행되었다. 이러한 연구들은 주중과 주말의 교통패턴이 다르고, 주말의 교통사고의 심각도가 주중의 사고보다 심각하다고 제시하고 있다(Gray et al., 2008; Quddus et al., 2010; Barua & Tay, 2010).

Gray et al.(2008)은 영국의 도로 안전도 측정을 위하여 13년간의 자료를 이용하여 사고의 심각도를 분석하였다. 순서형 프로빗 모형을 이용하였으며, 사용된 변수는 사고위치, 위반여부, 연령,

지역적 효과, 계절적 효과, 주중/주말, 기상상태, 도로 표면상태 등의 여러 가지 효과를 분석하였다. 주중, 주간, 지속도에서 발생하는 사고는 사고의 심각도가 낮게 나타난 반면, 주말, 야간, 고속차량, 사고다발지점 등에서 발생하는 사고는 치명적인 사고가 많이 발생하는 것으로 분석하였다. Barua and Tay(2010)은 방글라데시와 같은 개발도상국에서 발생하는 대중교통 사고를 순서형 프로빗모형으로 분석하였다. 1998년부터 2005년까지의 사고 자료를 이용하였으며, 사고건수와 사고율은 시간이 지남에 따라 점차 심각한 상태였다. 사고의 심각도는 주말, 비침투, 양방향 차로의 상황에서 더 심각한 것으로 나타났다.

또한 Anowar et al.(2013)의 연구에서는 주말과 국가 공휴일에 발생하는 사고를 예방하고, 정책을 집행하기 위하여 사고에 영향을 주는 요인에 대하여 분석하였다. 캐나다에서 5년 동안 발생한 공휴일과 주말의 자료를 이용하였으며, 로지스틱 회귀모형을 사용하여 분석하였다. 주중의 사고보다 주말과 공휴일에 사고가 더 많이 발생하고, 사고의 심각도도 높은 것으로 나타났다. 공휴일과 주말에 위험한 운전행태가 더 많이 나타나고 속도위반도 큰 것으로 나타났다.

3. 구조방정식 모형

구조방정식 모형은 사회학 및 심리학에서 개발된 측정이론에 토대를 둔 확인적 요인분석과 계량경제학에서 개발된 연립방정식 모델에 토대를 둔 다중회귀분석 및 경로분석 등이 결합된 성격을 갖는 방법론이라고 할 수 있다(배병렬, 2005, 2011). 구조방정식 모형은 일반적으로 측정모형과 구조모형으로 구성되어 있다. 측정 모형(Measurement model)은 각각의 관측변수가 특정 잠재변수에 대해 어떻게 적재되어 있는가를 설정한 확인적 요인분석의 성격을 갖고 있어서, 관측변수들의 측정속성인 신뢰도 및 타당도를 평가할 수 있다. 구조모형(Structural model)은 어떤 잠재변수가 다른

잠재변수의 변화에 직접적으로 또는 간접적으로 영향을 주고 있는 가를 설정한 다중회귀분석 및 경로분석의 성격이 반영되어 잠재변수들 간의 관계를 설정한 것이다. 구조방정식을 추정하는 프로그램에는 LISREL, AMOS, EQS 등이 있으나, 본 연구에서는 AMOS를 이용하여 모형을 추정하였다.

구조방정식 모형분석의 기본적인 과정은 측정변수를 통한 잠재요인을 발견하고 잠재요인 간에 인과관계의 가설을 설정하는 것이다. 일반적인 구조방정식의 구성요소는 다음 Table 1과 같으며, Fig. 1은 구성요소들을 경로도형으로 나타낸 것이다.

Amos에서 구조방정식 모형의 모수를 추정하는 기법에는 최대우도추정법(maximum likelihood), 일반화최소자승법(generalized least square), 비가중최소자승법(unweighted least square), 척도자유최소자승법(scale-free least square) 등이 있으며, 본 연구에서는 최대우도추정법을 이용하였다. 최대우도추정법에 이용되는 목적함수는 다음과 같다. 최대우도추정법의 적합함수는 다음과 같다.

$$F_{ML} = \log \| \Sigma(\theta) \| + tr[S\Sigma^{-1}(\theta)] - \log \| S \| - (p+q) \tag{1}$$

일반적으로 가장 많이 이용되는 추정법은 최대우도추정법으로 이는 추정량이 대규모 표본에서 일관적(consistent)이고, 점근효율

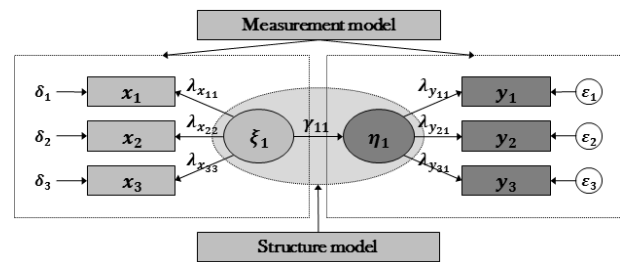


Fig. 1. Structural Equation Model

Table 1. Elements of Structural Equation Model

	x	q×1 vector of observed exogenous variables
	y	p×1 vector of observed endogenous variables
Measurement Model	ξ	n×1 vector of latent exogenous variables
	η	m×1 vector of latent endogenous variables
	δ	q×1 vector of measurement error terms for observed variables x
	ε	p×1 vector of measurement error terms for observed variables y
	Λx	The matrix(q×n) of structural coefficients for latent exogenous variables n to their observed indicator variables q
	Λy	The matrix(p×m) of structural coefficients for latent exogenous variables m to their observed indicator variables p
	Γ	The matrix(m×n) of regression effects for latent exogenous variables n to latent endogenous variables m
Structural Model	B	The coefficient matrix (m×m) of direct effects between latent endogenous variables
	ζ	m×1 vector of the error terms

적(asymptotically efficient)인 것으로 나타난다. 최대우도추정법 적합함수는 확률밀도함수를 적용하여 주어진 표본이 풀현할 확률 밀도가 가장 높아지도록 모수를 추정한다. 최대우도추정법이 가장 많이 사용되는 이유는 특정한 조건하에서 적합함수의 최소치에 $N-1$ 을 곱하면 χ^2 분포를 하기 때문이다.

4. 모형 구축

4.1 자료의 기초통계 분석

본 연구에서는 2006년부터 2010년까지의 5년 동안의 한국도로공사에서 관할하고 있는 경부고속도로, 영동고속도로, 88올림픽

고속도로 등 전국 고속도로에서 발생한 교통사고자료를 이용하였다. 해당 자료는 사고 발생지, 발생시간, 방향, 사고차종, 운전자와 피해자의 성별과 나이, 도로선형, 기상상태, 노면상태, 사고개요, 사고원인, 사망자 수, 중상자 수, 경상자 수 등 다양한 정보를 담고 있다.

이중에서 상관관계가 높아 다중공선성의 우려가 있는 변수들을 제외하고, 결측 자료들을 대체 또는 제거하였다. 이러한 자료의 점검을 통해 추출해낸 16개 변수(갓길주차차, 평면선형, 종단구배, 사고구간, 도로포장, 주야, 기상상태, 도로표면상태, 운전자 나이, 운전자 성별, 과속여부, 차종, 사망자 수, 부상자 수, 사고차량수, 차량피손대수)의 12,042개 자료를 사고의 유형에 따라 주중 발생한 사고와 주말에 발생한 사고로 분류하여 이용하였다. Table 2는

Table 2. Descriptive Statistics of Accident Records

Category		Weekday		Weekend	
		Frequency (person)	Ratio (%)	Frequency (person)	Ratio (%)
Total		8,152	100.0	3,530	100.0
Parking on shoulder	Relativeness	217	2.7	80	2.3
	No relativeness	7,935	97.3	3,450	97.7
Horizontal alignment	Straight	5,027	61.7	2,180	61.8
	Curve	3,125	38.3	1,350	38.2
Vertical alignment	Level	7,651	93.9	3,321	94.1
	Slope	501	6.1	209	5.9
Accident location	Tunnel	183	2.2	83	2.4
	Others	7,969	97.8	3,447	97.6
Road surface	Asphalt	3,583	44.0	1,535	43.5
	Concrete	4,569	56.0	1,995	56.5
Weather condition	Clear	4,634	56.8	1,931	54.7
	Others(rain, fog, etc)	3,518	43.2	1,599	45.3
Daytime or nighttime	Daytime	4,868	59.7	2,114	59.9
	Nighttime	3,284	40.3	1,416	40.1
Surface condition	Dry	5,905	72.4	2,520	71.4
	Wet	2,247	27.6	1,010	28.6
Driver's gender	Female	824	10.1	516	14.6
	Male	7,328	89.9	3,014	85.4
Driver's age	20s than less	1,313	16.1	744	21.1
	30~39	2,203	27.0	956	27.1
	40~49	2,688	33.0	1,068	30.3
	50~59	1,554	19.1	624	17.7
	60s than more	394	4.8	138	3.9
High operating speed	Normal	6,384	78.3	2,686	76.1
	Speeding	1,768	21.7	844	23.9
Vehicle type	small and medium	5,235	64.2	2,804	79.4
	Full-size	2,917	35.8	726	20.6

Note: Vehicle type for small and medium size included cars(business, private, jeep) and full-size included freight, trailer and special cargo.

Table 3. Definition of Model Variables

Category		1	0
Road factors	Parking on shoulder	Relativeness	No relativeness
	Horizontal alignment	Straight	Curve
	Vertical alignment	Slope(-3%~3%)	Slope(>3%)
	Accident location	Tunnel	Others
	Road surface	Concrete	Asphalt
Environment factors	Weather condition	Clear	Others(rain, fog, etc)
	Daytime or nighttime	Nighttime	Daytime
	Surface condition	Dry	Wet
Driver factors	Driver's gender	Male	Female
	Driver's age	20s than less: 1, 30s: 2, 40s: 3, 50s: 4, 60s: 5	
	High operating speed	Speeding	Others
	Vehicle type	Full-size	small and medium

해당 자료의 기술통계량을 요약한 것이다. 사고자료의 기술통계 분석결과를 살펴보면, 주말과 주중에 발생하는 사고의 구성비율이 차이가 있음을 알 수 있다. 예를 들어 주말과 주중에 발생한 사고의 성별, 연령, 차종분류 등의 경우, 그 구성 비율에서 다른 변수와 비교하여 차이가 있음을 나타낸다. 본 연구에서 분석에 사용된 모형인 구조방정식 모형은 주중과 주말의 사고 심각도에 미치는 영향을 비교하기 위한 모형으로 사용되었다. 구조방정식 모형은 변수들간의 복잡한 인과관계를 해석하고, 내생적, 외생적 변수들간의 관계를 다루는데 있어 장점을 가지고 있다. 사고 심각도에 미치는 여러 가지 변수들에 대하여 변수들간의 관계와 변수들과 사고 심각도와의 관계를 해석하는데 장점을 가진다.

본 연구에서는 사고데이터의 관측변수들을 크게 사고 심각도와 도로 요인, 운전자 요인, 환경 요인 등으로 분류하고, 이를 잠재변수로 설정하여 구조모형을 추정하였다. 도로 요인은 운전자의 특성이나 주변 환경에 영향을 받지 않고 도로의 구조적 요소에 영향을 미치는 잠재변수로서 갓길주정차, 평면선형, 종단구배, 사고구간, 도로포장을 관측변수로 설정하였다. 환경 요인은 교통상황이나 환경 등 도로 외적인 변화를 통하여 교통시설이나 교통흐름에 영향을 미치는 잠재변수로서 날씨, 주야간구분, 사고발생시간을 관측변수로 설정하였다. 또한 운전자 요인은 운전자의 행태에 영향을 미치는 요인으로 운전자의 성별과 연령, 과속여부, 원인차종을 관측변수로 설정하였다. 사고 심각도 잠재변수를 나타내는 관측변수로는 사망자수, 부상자수, 사고차량수, 차량피손대수 등 4개 변수를 이용하였다. 4개의 잠재변수 가운데 사고 심각도는 내생변수로, 도로 요인과 운전자 요인, 환경 요인 등 3개 변수는 외생변수로 설정하여 모형을 구축하도록 한다. 모형 추정을 위하여 적용된 변수들은 Table 3에서 나타난다.

4.2 모형의 추정 및 결과

구조방정식에 의한 주중주말 사고심각도 모형은 AMOS(Analysis of Moment Structure)를 이용하여 구축하였으며, 최종적으로 추정된 모형은 Fig. 2와 Fig. 3과 같다.

기초통계분석의 결과와 기존 연구들의 결과들을 토대로 본 연구에서는 최종적으로 도로 요인과 환경 요인, 운전자 요인을 외생 잠재변수로, 사고 심각도를 내생 잠재변수로 설정하여 구조방정식 모형을 구축하였다. 추정된 모수들은 모두 표준화 해(standardized solution)이며, 이를 통해 외생 잠재변수들이 내생 잠재변수에 미치는 상대적 영향력을 파악할 수 있다. 내생잠재변수로 선정한 사고 심각도는 교통사고로 인한 피해의 정도를 나타내며, 외생잠재변수는 관측지표들은 선정하였다.

추정된 계수들의 상대적인 크기를 비교해 본 결과, 본 연구에서는 주중모형은 도로요인이 주말모형에서는 환경 요인이 다른 요인에 비해 사고 심각도에 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 추정된 모형에 의하면, 주중 모형에서는 도로 요인이 사고 심각도에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 계수값이 0.487으로 양(+)의 값을 가지는 것으로 나타났다. 이는 도로 요인이 증가할수록, 즉 갓길주정차와 관련 있거나, 평면선형이 직선, 도로포장이 콘크리트 일 경우에 사고 심각도가 높아지는 것을 의미한다. 또한 도로 요인 중 종단구배와 사고구간은 유의수준 0.05에서 유의하지 않은 것으로 나타나 사고 심각도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 환경 요인이 사고 심각도에 미치는 영향은 0.083로 날씨가 맑거나 건조일 경우, 사고 심각도는 높아지는 것으로 나타났으며, 사고 발생시간의 경우에는 계수의 부호가 음(-)의 값을 가져 주간일 경우 사고 심각도는 낮아지는 것으로 나타났다. 운전자 요인의 경우에는 -0.082로 운전자 요인이 증가할수록 사고 심각도가 낮아

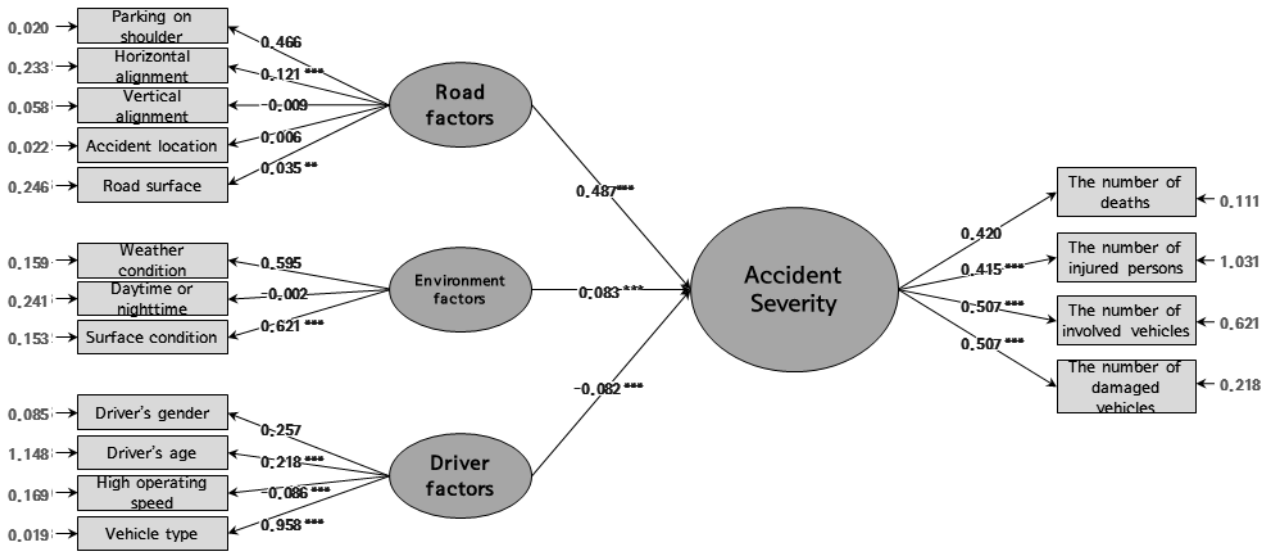


Fig. 2. Structural Equation Model for Weekday

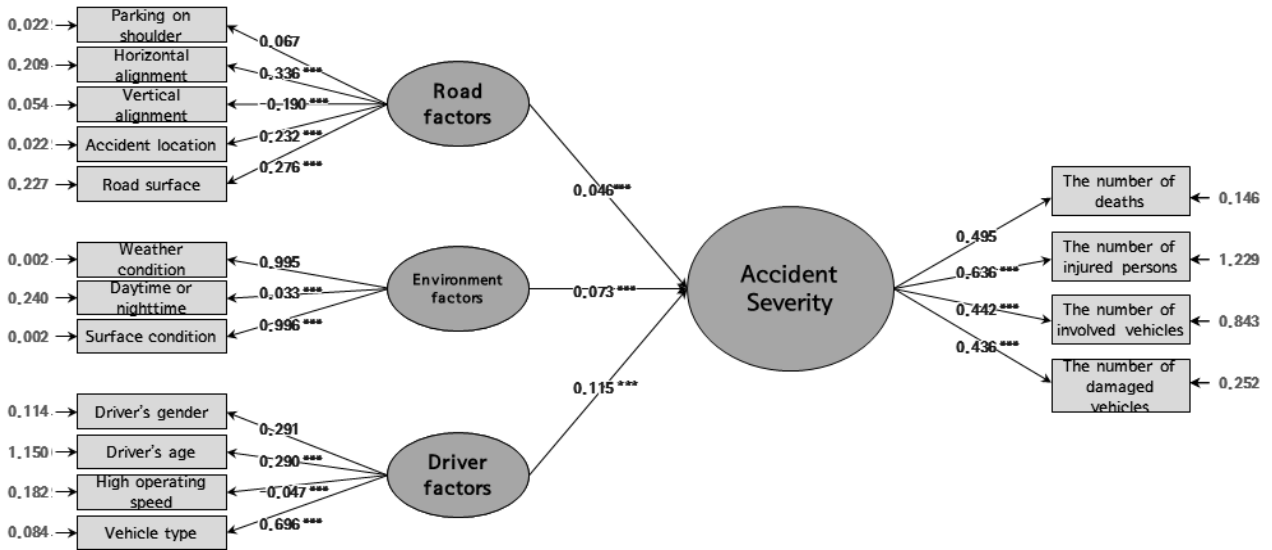


Fig. 3. Structural Equation Model for Weekend

지는 것으로 나타났으며, 따라서 연령대가 높고, 대형차를 운전하는 남자일 경우 사고 심각도는 낮고, 과속운전일 경우에는 사고심각도가 높은 것으로 나타났다.

반면 주말 모형에서는 도로 요인이 사고 심각도에 가장 큰 영향을 미치는 주중 모형과 달리 운전자 요인이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 환경 요인이 운전자 요인 다음으로 사고 심각도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 운전자 요인의 계수값이 양의 값을 나타내 주중 모형과 정반대의 양상을 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 주말 모형에서는 종단구배와 과속은

증가할수록 사고 심각도에 음(-)의 영향을 미치며, 날씨, 주야, 운전자 성별 및 연령, 차종은 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 도로 요인 중 종단구배와 사고위치의 경우 주중 모형에서는 사고 심각도에 유의하지 않았으나, 주말 모형에서는 사고심각도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

내생 잠재변수인 사고 심각도는 4개의 관측변수에 의해 설명되며, 상대적인 영향력은 주중 모형에서는 차량파손대수, 사고차량수, 사망자수, 부상자수의 순으로, 주말 모형에서는 부상자수, 사망자수, 사고차량수, 차량파손대수 순으로 나타났다.

주중, 주말모형에 의해 추정된 모수들 및 표준오차, t-value를 정리하면 Tables 4~7과 같다.

주중 사고모형의 경우, 추정된 Lamda-x와 Gamma 값에 의해, 평면선형, 도로포장, 도로표면상태, 운전자 연령, 대형차량일수록

Table 4. Estimates of Γ for Weekday Model

Category	Estimates	S.E.	t-value	P	Standardized coefficients
Road factors	1.000	-	-	-	0.487
Environment factors	0.044	0.014	3.225	0.001	0.083
Driver factors	-0.163	0.037	-4.407	0.001	-0.082

Table 5. Estimates of λ_x for Weekday Model

Category	Observed variables	Estimates	S.E.	t-value	P	Standardized coefficients
Road factors	Parking on shoulder	1.000	-	-	-	0.466
	Horizontal alignment	0.783	0.135	5.811	0.001	0.121
	Vertical alignment	-0.029	0.062	-0.463	0.643	-0.009
	Accident location	0.012	0.038	0.307	0.759	0.006
	Road surface	0.229	0.130	1.771	0.077	0.035
Environment factors	Weather condition	1.000	-	-	-	0.595
	Daytime or nighttime	-0.003	0.025	-0.126	0.900	-0.002
	Surface condition	1.051	0.252	4.165	0.001	0.621
Driver factors	Driver's gender	1.000	-	-	-	0.257
	Driver's age	3.096	0.209	14.786	0.001	0.218
	High operating speed	-0.457	0.065	-7.090	0.001	-0.086
	Vehicle type	5.936	0.918	6.465	0.001	0.958

Table 6. Estimates of Γ for Weekend Model

Category	Estimates	S.E.	t-value	P	Standardized coefficients
Road factors	1.000	-	-	-	0.046
Environment factors	0.244	0.067	3.618	0.001	0.115
Driver factors	0.032	0.010	3.232	0.001	0.073

Table 7. Estimates of λ_x for Weekend Model

Category	Observed variables	Estimates	S.E.	t-value	P	Standardized coefficients
Road factors	Parking on shoulder	1.000	-	-	-	0.067
	Horizontal alignment	16.455	7.619	2.160	0.031	0.336
	Vertical alignment	-4.523	2.163	-2.091	0.037	-0.190
	Accident location	3.542	1.661	2.132	0.033	0.232
	Road surface	13.802	6.409	2.154	0.031	0.276
Environment factors	Weather condition	1.000	-	-	-	0.995
	Daytime or nighttime	0.033	0.017	1.958	0.050	0.033
	Surface condition	1.000	0.018	54.239	0.001	0.996
Driver factors	Driver's gender	1.000	-	-	-	0.291
	Driver's age	3.156	0.354	8.920	0.001	0.290
	High operating speed	-0.197	0.097	-2.032	0.042	-0.047
	Vehicle type	2.736	0.484	5.652	0.001	0.696

Table 8. Goodness of Fit Statistics

Index	Weekday	Weekend	Recommended level
Chi-square	2190.547 (p=0.001)	1034.612 (p=0.001)	p<0.05)
GFI	0.968	0.966	0.9 and more
AGFI	0.956	0.953	0.85 and more
RMR	0.012	0.015	0.05 and less
RMSEA	0.051	0.052	0.05 and less

사고심각도의 양(+)의 영향을 미치며 과속 등이 사고심각도에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 주말 사고모형의 경우 횡단선형, 사고위치, 도로포장상태, 도로표면, 야간, 대형차량일수록 사고심각도의 양(+)의 영향을 미치며, 종단구배가 사고심각도에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구모형이 주어진 자료에 전반적으로 잘 부합하는지를 판단하기 위한 적합도 지수는 Table 8에 제시하였다. 카이제곱 통계량은 표본 공분산행렬(S)과 추정공분산행렬(Σ)와의 불일치정도를 평가하기 위한 지표로, 본 모형에서는 1034.612~2190.547(p=0.001)로 나타나 두 행렬간의 차이가 없다는 귀무가설을 기각하게 된다. 하지만 카이제곱 통계량은 표본 크기에 민감하게 반응하여 표본의 수가 많을수록 p값이 낮게 나타나는 경향이 있어, 다른 여러 가지 적합지수를 함께 고려하여 판단하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 카이제곱 통계량 이외에 적합지수(goodness-of-fit-index, GFI), 조정적합지수(adjusted goodness-of-fit-index, AGFI), 잔차평균자승의 이중근(root mean square residual, RMR), 근사 오차평균자승의 이중근(root mean square error of approximation, RMSEA)를 고려하여 모형의 적합여부를 판단하였다.

적합지수(GFI)는 관측행렬과 재생행렬 간의 잔차지승합의 비율에 기초한 지수로서 일반적으로 0~1사이의 값을 가지며, 모형이 표본공분산행렬을 설명하는 비율을 나타내는 지표이다. 적합지수의 보편적인 권장수준은 0.9 이상이며, 두 개의 본 연구모형 모두 기준치에 부합되는 것으로 나타났다. 또한 자유도에 의해 적합지수를 수정한 조정적합지수(AGFI) 역시 권장수준인 0.9이상인 것으로 나타났으며, S와 Σ 와의 차이를 이용하여 산출하는 RMR은 모형에 의하여 설명할 수 없는 분산공분산의 크기로서 작을수록 좋은 값을 나타내는데 권장수준보다 작은 0.011과 0.014로 나타났다. 표본크기가 큰 모형의 카이제곱 통계량에 대한 한계를 극복하기 위한 적합지수 RMSEA 값도 각각 0.051 0.052로 적합하게 나타났다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 주중과 주말 고속도로의 사고심각도에 영향을 미치는 요인들이 차이가 있음을 분석하고자 사고심각도를 구조모

형의 내생 잠재변수로, 도로 요인 및 운전자 요인, 환경 요인을 외생 잠재변수로 설정하여 모형을 추정하였다. 잠재변수들을 설명하기 위한 관측변수에는 갓길주정차, 평면선형, 종단구배, 사고구간, 도로포장, 주야, 기상상태, 도로표면, 운전자 나이, 운전자 성별, 과속여부, 차종, 사망자 수, 부상자 수, 사고차량수, 차량파손대수 등 총 16개 변수가 포함되었으며, 2006년부터 2010년까지의 고속도로 사고데이터 12,042개를 표본으로 이용하였다. 모형의 추정결과 주중 사고 심각도 모형은 도로 요인이 사고 심각도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 주말 사고 심각도 모형은 운전자 요인이 사고 심각도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 주중과 주말 사고의 원인 차이를 나타냈다.

주중 사고모형의 경우, 추정된 Lamda-x와 Gamma 값에 의해, 평면선형, 도로포장, 도로표면상태, 운전자 연령, 대형차량일수록 사고심각도의 양(+)의 영향을 미치며 과속 등이 사고심각도에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 주말 사고모형의 경우 횡단선형, 사고위치, 도로포장상태, 도로표면, 야간, 대형차량일수록 사고심각도의 양(+)의 영향을 미치며, 종단구배가 사고심각도에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

교통사고는 매우 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 발생하기 때문에 예측을 하는데 많은 어려움이 있다. 특히나 본 연구에서의 분석결과와 같이 주중과 주말 사고심각도에 영향을 미치는 주요한 요인은 다르게 나타난다. 주중사고에서는 도로요인이 가장 큰 영향이지만 주말사고는 통행의 주요목적에 여가이기 때문에 운전자 요인이 큰 영향으로 분석되었다. 주중과 주말의 다른 통행패턴에 따른 교통사고의 원인을 분석하고 이에 따른 대책을 고려하기 위하여 본 연구에서 적용한 도로나 운전자, 환경 요인들을 세분화하거나, 실제 정책상 많이 고려되지 못하고 있는 운전자의 행태적 측면을 잠재변수로서 고려하여 모형을 발전시킨다면 사고를 예측하고 그 피해를 줄이는데 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0028933).

References

- Anowar, S., Yasmin, S. and Tay, R. (2013). "Comparison of crashes during public holidays and regular weekends." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 51, pp. 93-97.
- Bae, B. R. (2011). *Structural equation modeling with amos 19 - principles and practice-*, Chungnam (in Korean).
- Barua, U. and Tay, R. (2010). "Severity of urban transit bus crashes in Bangladesh." *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 44, No. 1, pp. 34-41.
- Gray, R. C., Quddus, M. A. and Evans, A. (2008). "Injury severity analysis of accidents involving young male drivers in Great Britain." *Journal of Safety Research*, Vol. 39, pp. 483-495.
- Lee, J. Y. (2008). "Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 40, pp. 1955-1963.
- Lee, J. Y., Chung, J. H. and Son, B. S. (2008). "Analysis of traffic accident severity for Korean highway using structural equations models." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 26, No. 3, pp. 17-24 (in Korean).
- Park, H. S., Son, B. S. and Kim, H. J. (2007). "Development of accident prediction models for freeway interchange ramps." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 25, No. 3, pp. 123-136 (in Korean).
- Park, J. S., Kim, T. Y. and Yu, D. S. (2007). "Correlation analysis and estimation modeling between road environmental factors and traffic accidents (the case of a 4-legged signalized intersections in cheongju)." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 25, No. 2, pp. 63-72 (in Korean).