도로 안전성 분석 모형에 관한 연구: 전라북도 국도 권역을 중심으로

임준범* · 김준기** · 이수범*** · 김현진****

Lim, Joonbeom* · Kim, Joon-Ki** · Lee, Soobeom*** · Kim, Hyunjin****

A Study on the Road Safety Analysis Model: Focused on National Highway Areas in Cheonbuk Province

ABSTRACT

Currently, Korean transportation policies are aiming for increase of safety and environment-friendly and efficient operation, by avoiding construction and expansion of roads, and upgrading road alignments and facilities. This is revealed by that there have been 22 road expansion projects (30%) and 50 road improvement projects (70%) under the 3rd Five-Year Plan for National Highways ('11~'15), while there were 53 road expansion projects (71%) and 22 road improvement projects (29%) under the 2nd Five-Year Plan for National Highways. For more effective road improvement projects, there is a need of choosing projects after an objective and scientific safety assessment of each road, and assessing safety improvement depending on projects. This study is intended to develop a model for this road safety analysis and assessment. The major objective of this study is creating a road safety analysis and assessment model appropriate for Korean society, based on the HSM (Highway Safety Manual) of the U.S. In order to build up data for model development, the sections thought to have identical geometrical structure factors in 5 lines, Cheonbuk province, were divided as homogeneous sections, and representative values of geometric structures, facilities, traffic volume, climate conditions and land usage were collected from the 1,452 sections divided. In order to build up data for model development, the sections thought to have identical geometrical structure factors in 5 lines, Cheonbuk province, were divided as homogeneous sections, and representative values of geometric structures, facilities, traffic volume, climate conditions and land usage were collected from the 1,452 sections divided. The collected data was processed correlation analysis of each road element was implemented to see which factor had a big effect on traffic accidents. On the basis of these results, then, an accident model was established as a negative binomial regression model. Using the developed model, an Crash Modification Factor (CMF) which determines accident frequency changes depending on safety performance function (SPF) predicting the number of accident occurrence through traffic volume and road section expansion, road geometric structure and traffic properties, was extracted.

Key words : Traffic accident estimation model, Negative binomial regression model, Safety performance function, Crash modification factor

초 록

현재 우리나라의 교통정책은 도로의 신설·확장은 지양하고, 도로의 선형 및 시설을 개량하여 안전성을 증대시키고, 친환경적이며 효율적으로 운영할 수 있는 방향으로 나아가고 있다. 이는 국가 도로사업 중 하나인 제2차 국도 5개년계획('06~'10)이 확장 53건(71%), 개량 22건(29%)인 반면, 제3차 국도 5개년계획('11~'15)은 확장 22건(30%), 개량 50건(70%)로 변화된 것으로 나타나고 있다. 이러한 시설개량위주의 도로사업을 좀 더 효과적으로 추진하기 위해서는 도로의 안전성을 객관적이고 과학적으로 판단하여 사업을 선정하고, 사업에 따른 안전성 향상에 대한 평가가 이루어져야 한다고 판단된다. 본 연구는 이러한 도로별 안전성 분석 및 평가를 위한 모형을 개발하는데 목적이 있다. 본 연구의 주요내용은 미국의 HSM (Highway Safety Manual)을 근간으로 하여 한국실정에 맞게 도로의 안전성을 분석하고 평가할 수 있는 모형을 개발하는 것이다.

* 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사수료 (t_safety@hanmail.net)

** 정회원 · 교신저자 · 국토연구원 책임연구원 (Corresponding Author · Korea Research Institute For Human Settlements · kimjoonki@krihs.re.kr)

*** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (mendota@uos.ac.kr)

**** 교통안전공단 안전평가처 선임연구원 (khj2047@chol.com)

Received June 3, 2013/ revised August 21, 2013/ accepted December 25, 2013

모형 정립을 위한 데이터 구축은 전라북도 권역 5개 국도호선을 대상으로 기하구조 요인이 동일하다고 판단되는 구간을 동질성 구간으로 구분하였고, 구분된 1,452개 구간에 대하여 도로 기하구조, 시설물, 교통량, 기상상태, 토지이용 등의 대표값을 수집하였다. 수집된 자료는 교통사고와 각 도로요소의 상관관계 분석을 수행하여 어떠한 요인이 교통사고에 큰 영향을 미치는지 분석하였고, 이를 바탕으로 음이항회귀모형으로 사고모형을 정립하였다. 개발된 모형을 가지고 교통량과 도로구간연장을 이용하여 발생사고건수를 예측하는 안전성능함수와 도로기하구조 및 교통특성 등의 변화에 따라 사고빈도 변화를 결정하는 사고수정계수를 도출하였다.

검색어 : 교통사고건수 추정모형, 음이항회귀모형, 안전성능함수(SPF), 사고수정계수(CMF)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교통안전에 대한 사회적 관심과 요구가 증대됨에 따라 정부에서는 '17년까지 OECD 수준의 도로교통 안전확보를 목표로 국정과제로 교통사고 예방을 위한 대책을 추진 중에 있다. 사고예방을 위한 대책으로는 도로의 신설·확장보다는 교통안전 위험구간을 중심으로 선형을 개량하는 시설개량사업에 우선순위를 두고 추진하고 있다. 「제3차 국도 5개년 계획(’11~’15)」에서 시설개량사업은 50건(70%), 확장 22건(30%)로 「제2차 국도 5개년 계획(’06~’10)」의 시설개량사업 22건(29%), 확장 53건(73%)에 비하여 크게 증가하였으며, 안전성 향상을 위한 도로사업은 계속 증가할 것으로 예상된다.

그러나 현재 안전성 향상을 위한 도로사업 추진에 있어 도로의 위험성을 판단할 수 있는 과학적인 기준이 부재하여, 과거의 사고발생 건수에만 의존하여 안전성 개선지점을 선정하고 있다. 사고발생 건수에 의해서 개선지점을 선정하는 방법은 도로의 위험지역을 가장 쉽게 판단할 수 있으나, 도로의 잠재적인 위험성(즉, 도로 기하구조적으로 교통사고의 발생확률이 높은 구간임에도 분석기간 동안 교통사고가 발생하지 않은 구간)을 반영하지 못하는 한계를 지니고 있다.

이에 본 논문에서는 도로의 안전성을 판단할 수 있는 모형을 구축하였으며, 개발된 도로안전성 분석 모형은 도로별 사고위험요소를 분석하고 시설개량사업 우선순위 선정 및 교통사고감소 효과 분석에 용이하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

1.2 연구의 방법 및 범위

1.2.1 연구의 방법

본 연구에서는 미국에서 개발한 HSM (Highway Safety Manual) 분석틀을 준용하여 우리나라 실정에 맞게 모형을 구축하였으며, 모형 구축을 위하여 전라북도 국도 9개 노선에 대하여 도로기하구조, 시설물, 교통량, 기상, 사고건수 등의 자료들을 수집하였다. 사고모형은 음이항회귀모형을 통해 개발하였으며, 개발된 사고모형을 바탕으로 안전성능함수(SPF: Safety Performance Function)

와 사고수정계수(CMF: Crash Modification Factor)를 개발하였다. 또한, 경험적 베이지안 방법으로 실측사고건수와 추정사고건수를 결합하여, 최종 추정사고건수 모형을 완성하였다. 모형의 적합도는 추정된 사고건수와 실측 사고건수를 비교하는 평균예측편의(MPB)와 평균절대이탈도(MAD)로 검증을 하였다.

Fig. 1. Flow Chart of Research

1.2.2 연구의 범위

도로안전성 분석 모형 구축을 위한 공간적인 범위는 전라북도 국도 9개 노선 총 연장 164.6 km를 대상으로 하였으며, 시간적인 범위는 사고데이터를 포함한 2008부터 2010년까지 3년간의 데이터를 활용하였다.

또한 모형개발을 위해서 해당노선 중 교차로 구간(교차로 중심에서 전후방 50 m¹⁾)을 제외한 도로구간의 영향변수만을 조사하여 데이터를 구축하였다.

1) 경찰청 사고찾은 곳 선정에서 교차로 범위를 정지선 후방 30 m로 정하고 있는데, 교통량이 없는 지방부 도로임을 고려하여 50 m로 확장하여 적용함

Table 1. Study Area Outlines (9 National Highways)

line	Origin and Destination	Length (km)
national highway line 1	SinWeol ~ WongLim	24.0
national highway line 21	GongHang ~ GongDuck	24.4
national highway line 22	MokHwa Br. ~ GuMi-dong	17.0
national highway line 23	SeoAm ~ GongDuck	10.4
national highway line 23	HakCheon ~ MokHwa Br.	15.0
national highway line 23	YoungJeon ~ BongHwang	16.8
national highway line 23	SongHak ~ MangSung	26.0
national highway line 26	GongHang ~ WiGo	5.0
national highway line 77	MaPo ~ BongHwang	26.0

Fig. 2. Study Area Map (9 National Highways)

2. 기존 문헌 및 이론 고찰

2.1 도로안전성 분석 선행 연구 사례

2.1.1 Highway Safety Manual (HSM), AASHTO (2010)

미국 HSM은 교통정책 결정과정에서 교통안전에 과학적이고 신뢰성 있는 방법으로 계량화하여 반영하기 위해 개발된 매뉴얼로, 10년 이상의 오랜기간 동안의 연구를 통해서 밝혀진 결과를 바탕으로 작성되었으며, FHWA와 TRB등 미국의 교통분야에서 가장 공신력 있는 기관들이 지지하고 있다.

HSM에서는 도로안전성 분석모형을 안전성능함수(SPF)와 사고수정계수(CMF), 지역보정계수(C)로 구분하여 정립하였다.

안전성능함수(SPF)는 기본적인 도로조건하에서 교통량(AADT)과 도로구간연장(L)만을 이용하여 발생 사고건수를 추정하는 모형이다.

사고수정계수(CMF)는 사고에 영향을 미치는 요소들의 영향정도를 계량화한 것으로, 도로 및 교통요소의 변화에 따라 안전성능함수에서 추정된 도로의 사고빈도 변화를 결정하는 보정계수이다.

지역보정계수(C)는 사고수정계수에서는 반영되지 않는 인구나 산업특성 등의 지역적 특성이 사고에 미치는 영향을 보정하는 계수이다.

구간별 사고건수 예측은 안전성능함수(SPF), 사고수정계수(CMF), 지역보정계수(C)의 곱으로 추정되며, 그 식은 Eq. (1)과 같다.

$$N_{estimation} = N_{SPF_x} (CMF_{1x} \times CMF_{2x} \times \dots \times CMF_{yx}) \times C_x \quad (1)$$

HSM에서 제시하는 도로 안전성 분석 및 평가방법은 위의 식으로 도로의 구간별 사고건수를 추정하고, 안전성능함수(SPF: 교통량과 도로구간길이 만으로 추정한 모형)로 추정한 사고건수와 차이가 가장 크게 나는 구간을 도로선형 및 시설물 개선사업을 우선 하도록 제시하고 있다.

Fig. 3. HSM Methodology

SPF만으로 추정한 사고건수와 CMF를 곱해서 추정된 사고건수가 차이가 많이 난다는 것은 도로조건들이 사고를 증가시킬 수 있는 좋지 않은 환경이라는 것을 의미한다. 그러므로 이러한 구간들은 먼저 도로선형이나 시설물적인 개선을 필요로 한다고 볼 수 있다. 사고는 인적요인에 의해서 대부분 발생하기 때문에, 사고가 많이 일어난다고 도로선형이나 시설물의 조건이 좋지 않다고 볼 수 없다. 따라서 HSM이 제시하는 이 방법은 선형이나 시설물이 좋지 않은 도로만 위험구간으로 선택할 수 있다는 점에서 설득력이 있다고 볼 수 있다.

2.1.2 사고 영향변수에 관한 연구

차로폭과 관련된 사고는 run-off road, head-on, same direction-side swipe, opposite-direction sideswipe 등의 유형으로 발생하며, 차로폭 1 ft 증가 시 사고가 12% 감소하고, 4 ft 증가 시 40%의 사고 감소효과가 있다고 나타났다(Zegeer et al., 1987).

중단선형의 경우 도로구간의 경사가 증가하면 사고가 증가하는 경향을 보인다고 분석되었으며, 경사가 2~8%일 때 사고가 3~14%

Table 2. Study Variables on the Traffic Accident

Author	Variable	Accident Influence
Zegeer et al, 1987	Road width	When 1ft increase and 12% decrease When 4ft increase and 40% decrease
Harwood, 2000	Longitudinal slope	When slope 2~8% increase and 3~14% increase
Ahn Y. T., 1999	Horizontal Alignment	Curve Radius Under 600m rise sharply
Samuel Labi, 2006	Top of Road Width	When 5ft increase and main road 29%decrease The branch line main road 7%decrease
Harwood et al, 2002	Additional line sp	25~40% decrease
Samsung Traffic Research Institute, 2004	Guard rail	Rear-end collision 55~85%decrease Side collision 15~40% decrease
Sokolow et al, 1992	Entry and Exit Section	When 20/mile and two time increase
MOLIT, 2002	Median	31.9% decrease
Kim H. D., 2001	Weather Condition	When precipitation 4 times increase
Ciro caliando et al, 1997	Road wet condition	Wet roads curve section 3.26 times Straight line section 2.81 times increase

증가하는 것으로 나타났다(Harwood et al., 2000).

평면선형의 경우 곡선반경 600 m인 지점을 중심으로 사고가 급격히 증가하는 것으로 나타났다(Ahn Y. T., 1999).

길어깨 폭이 5 ft 증가하면 물피사고는 지방부 간선도로에서는 29%, 지선도로에서는 7% 감소하는 것으로 나타났으며, 사망중상 사고는 간선도로에서는 37%, 지선도로에서는 17% 감소하는 것으로 나타났다(Samuel Labi, 2006).

부가차로는 교통량이 많은 경우 전형적인 지방부 2차로 도로보다 사고를 25~40% 감소시키는 효과가 있다고 분석되었다(Harwood et al, 2002).

가드레일 설치 전후의 사고 감소 효과를 분석한 연구 결과에 따르면 가드레일 설치 후 곡선부에서 후미추돌사고는 55~85% 감소하고, 측면 충돌사고는 15~40% 감소하는 것으로 나타났다(Samsung Traffic Research Institute, 2004).

진출입부의 경우 접근로의 숫자가 20개/mile을 초과하면 사고율

이 2배로 증가하는 것으로 나타났다(Sokolow et al, 1992).

중앙분리대 사고감소 효과에 대한 연구를 고찰한 결과, 중앙분리대 설치 후 총 사고건수는 31.9% 감소하였으며, 사망자수는 66.7% 감소한 것으로 나타났다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2002).

기상상태가 사고에 미치는 영향을 살펴보면, 기상상태가 사고 발생률 및 사고 치명도에 중요한 영향을 주는 것으로 나타났으며, 또한, 강우시에 발생한 사고는 전체 사고발생률보다 약 4배 높은 것으로 나타났다(Kim H. D., 2001).

노면이 젖은 상태는 건조한 노면상태에 비하여 곡선부에서는 3.26배, 직선부에서는 2.81배 사고가 증가하였다(Ciro Caliando et al., 2007).

2.2 사고모형 이론고찰

사고의 로그선형모형은 대표적으로 포아송회귀(Poisson Regression)와 음이항회귀(Negative Binomial Regression)로 나뉜다. 포아송 분포는 빈도모형을 개발하는데 있어서 많이 쓰이고 있지만, 분산과 평균이 같다는 가정을 기반으로 하고 있다. 하지만 교통사고자료에서는 종종 평균보다 분산이 큰 것으로 나타난다. 따라서 과분산 현상을 해결할 수 있는 음이항회귀 모형이 보편적으로 교통사고발생모형에 적용된다.

Shankar et al. (1995)은 지방부고속도로를 대상으로 도로기하 구조와 날씨관련 환경변수 데이터를 수집하여 포아송분포와 음이항회귀분포를 사용해서 전체사고모형과 사고유형별 모형을 구축하였다. 그 결과 전복사고를 제외하고는 전체사고유형에서 음이항회귀가 더 적합한 것으로 나타났다.

음이항분포는 사고수(λ_i)와 오차항(ϵ_i)이 포함되며, 이는 Eq. (2)와 같이 표현된다.

$$\lambda_i = \text{EXP}(\beta x_i + \epsilon_i) \quad (2)$$

λ_i : 기대사고건수

β : 추정모수

x_i : 설명변수

ϵ_i : 오차항

여기서 $\text{EXP}(\epsilon_i)$ 는 오차항으로 평균이 1이고 분산이 α^2 인 감마 분포오차(Gamma-Distributed Error)이며, 평균과 분산의 관계는 다음 Eq. (3)과 같다.

$$\text{VAR}[y_i] = E[y_i][1 + \alpha E[y_i]] = E[y_i] + \alpha E[y_i]^2 \quad (3)$$

3. 자료수집

3.1 독립변수 자료수집

본 연구에서 도로 안전성 분석모형을 개발하기 위해서 수집해야 할 자료들을 선정하였다. 우선 2.2.2에서 제시한 기존 연구들을 토대로 사고에 영향을 미치는 변수들을 분석하고, 전문가 자문의견과 명확하게 수집가능한 항목들을 토대로 수집 자료들을 선정하였다. 최종 선정된 항목은 평면선형자료(곡선반경, 완화곡선), 종단선형자료(종단경사), 차선펙, 차선수, 도로폭, 중앙분리대유무, 가드레일유무, 편경사, 도로시거, 진출입구수, 부가차로유무, 길어깨유무, 교량유무, 터널유무, 토지이용, 교통량, 강우일수, 안개일수, 강설일수, 사고건수 등 총 23개항목이다. 각 항목들의 세부사항 및 수집방법은 다음과 같다.

3.1.1 도로 기하구조 및 시설물 조사

도로폭, 도로선형 등의 기하구조 데이터는 첨단 도로점검 차량(한국건설기술연구원) 또는 NAHMIS 도면자료를 활용하였다. 첨단 도로점검 차량의 경우 기하구조 및 도로 정보의 신속한 자료수집이 가능하다.

첨단 도로 점검 차량을 활용해 수집된 자료 중 분석에 이용된 항목은 다음과 같다(Table 3).

Fig. 4. Automated Road Analysis and Safety Evaluation TOOL²⁾

수집된 자료는 구간 분할법에 따라 분할하였다. 구간분할은 평면선형 구분(ALIGN_TYPE)에 따라 직선(T)과 곡선(C)으로 1차 분할하고, 종단선형의 경사(PROFILE_SLOPE)의 변화에 따라 2차 분할하였다. Fig. 5는 23호선(영전사거리~봉황교차로) 자료를 구간 분할한 예시이다.

구간 분할법에 따라 나뉜 구간의 길이가 100 m 미만인 경우, 분석 대상구간이 너무 짧으므로 유효성이 낮아진다. 그러므로 종단선형의 경사가 변하였어도, 그 값의 차가 1% 미만이면 동질구간으로 판단하고, 그 구간의 종단경사는 연장이 더 길게 있는 값(최빈값)으로 처리하였다. 구간 분할에 따른 각 항목들의 대표값은 구간별 최빈값으로 선정하며, 최빈값이 없을 경우 중앙값으로 선정하였다.

Table 3. Collection Data Using Investigation Vehicle

Column	Column ID	Data Type	Column	Column ID	Data Type
Measuring point	STA	int	Lane width of the up line	LW_UP	decimal (6, 1)
X coordinate	X	decimal (15, 6)	Lane width of the down line	LW_DN	decimal (6, 1)
Y coordinate	Y	decimal (15, 6)	High rank Road speed	HIROAD_SPEED	int
Median	CENTER_DIVIDER	char(1)	Low rank Road speed	LOROAD_SPEED	int
The up line Guard Rail	GUARDRAIL_UP	char(1)	Alignment type	ALIGN_TYPE	char(1)
The down line Guard Rail	GUARDRAIL_DN	char(1)	horizontal alignment radius	ALIGN_RADIUS	decimal (5, 0)
The up line Design Speed	SPEED_UP	decimal (15, 6)	horizontal alignment an easement curve	ALIGN_PARAM	decimal (10, 3)
The down line Design Speed	SPEED_DN	decimal (15, 6)	vertical alignment slope	PROFILE_SLOPE	decimal (15, 2)
Previous up line Limit speed	LIMIT_SPEED_UP_PREV	int	Road Width of the Up line	RW_UP	decimal (6, 1)
The up line limit speed	LIMIT_SPEED_UP	int	Road width of the down line	RW_DN	decimal (6, 1)
Previous down line Limit speed	LIMIT_SPEED_DN_PREV	int	Sight Distance of The up line	SD_UP	char(1)
The down line Limit speed	LIMIT_SPEED_DN	int	Sight Distance of The down line	SD_DN	char(1)

2) Source: Korea Institute of Construction Technology (2013)

STA	X	Y	ALIGN_ TYPE	ALIGN_ RADIUS	ALIGN_ PARAM	PROFILE_S LOPE	...	RW_UP	RW_DN
0	169946.5	334974.1	T	0	0	1.4	...	8	7.2
1	169946.4	334975.1	T	0	0	1.4	...	8.3	7.2
2	169946.3	334976.1	T	0	0	1.4	...	8.5	7.3
3	169946.2	334977.1	T	0	0	1.4	...	8.8	7.3
4	169946.1	334978.1	T	0	0	1.4	...	9.1	7.3
5	169946	334979.1	T	0	0	1.4	...	9.3	7.3
6	169945.9	334980.1	T	0	0	1.4	...	9.6	7.4
7	169945.8	334981.1	T	0	0	1.4	...	9.9	7.4
8	169945.7	334982.1	T	0	0	1.4	...	10.1	7.4
9	169945.6	334983.1	T	0	0	1.4	...	10.4	7.4
10	169945.5	334984.1	C	258	45.952	1.4	...	10.7	7.5
11	169945.5	334985.1	C	258	45.952	1.4	...	10.9	7.5
12	169945.4	334986	C	258	45.952	1.4	...	11.2	7.5
13	169945.4	334987	C	258	45.952	1.4	...	11.4	7.5
14	169945.3	334988	C	258	45.952	1.4	...	11.7	7.5
15	169945.3	334989	C	258	45.952	1.4	...	12	7.6
16	169945.3	334990	C	258	45.952	1.4	...	12.2	7.6
17	169945.2	334991	C	258	45.952	1.4	...	12.5	7.6
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
118	169961.9	335089.9	C	258	0	1.4	...	7.7	8.4
119	169962.2	335090.8	C	258	0	1.4	...	7.6	8.5
220	170017.8	335198.1	C	290	67.825	2.48	...	6.1	11.3
221	170018.2	335199	C	290	67.825	2.48	...	6.1	11.3
223	170018.5	335199.9	C	290	67.825	2.48	...	6.1	11.3
224	170018.9	335200.9	C	290	67.825	2.48	...	6.1	11.4

Fig. 5. Homogeneous Section Samples

Fig. 6. Road Character Collection Using Road-View

3.1.2 교통량 및 기상자료

교통량은 전국 교통량 조사 및 상시 조사 결과를 활용하였다. 또한 본 연구에서 정하는 일정 단위구간별 교통량 수집에는 한계가 있으므로 교통량이 조사된 지점의 교통량을 적용하며, 교통량 수집 지점의 AADT와 차종별 AADT를 수집한 후 동질성 구간별로 해당 교통량 데이터를 적용하여 DB를 구축하였다.

기상 데이터는 기상청 자료(기상연보)를 활용하여 강우/강설일 수, 안개일수를 수집하였다. 또한 기상데이터는 대상 노선지역 인근에 위치한 기상청관측대 자료를 기준으로 적용하였다.

3.1.3 기타 도로여건

모형개발에 필요한 기타 도로여건 항목에 대한 자료수집은 첨단 조사차량을 통해 수집한 영상자료의 분석 또는 포털사이트의 로드뷰와 ArcMap을 이용하여, 차로수, 진출입구수, 부가차로 유무, 길아깨유무, 교량과 터널 유무를 조사하였다. 상행과 하행을 따로 조사하였으며, 진출입구수는 구간 내 존재하는 수를 조사하였다. 부가차로와 길아깨는 설치되어 있는 길이가 구간길이보다 더 길면 “유”, 짧으면 “무”로 조사(즉, 구간의 50% 이상이 설치되어있으면 “유” 아니면 “무”)했으며, 동질성 구간 내에 교량과 터널이 있으면 “유”로 조사였다. 다음은 ArcMap과 위성사진, 로드뷰를 사용하여, 전라북도 23호선(영전사거리~봉황교차로)을 조사한 예시이다(Fig. 6).

3.1.4 토지이용특성

본 연구는 데이터 수집항목으로 토지피복지도를 이용하여 토지 이용특성을 반영하였다. 토지이용특성은 GIS를 이용한 중첩분석(Overlay Analysis)과 공간중첩(Spatial Join Analysis)을 통해 도로가 위치한 지역의 토지이용을 반영하였다. 토지피복지도는 토지의 이용에 따라 7항목의 대분류와 23항목의 중분류로 구분되며, 본 연구에서는 중분류를 이용하였다.

Table 4. Categorization of Land-Use

Main Category	Division	code	color	Main Category	Division	code	color
Urbanization Arid regions (1)	Residential	110		Forest area (3)	broad-leaved	310	
	Manufacturing	120			coniferous	320	
	The business	130			mixed stand	330	
	Local leisure facilities	140		Grass-land (4)	natural	410	
	Traffic area	150			golf course	420	
	Public facilities	160			Others	430	
Agricultural areas (2)	Snow	210		Mars (5)	inland wetlands	510	
	Farm	220			coastal wet land	520	
	House farm	230		bare land (6)	mining site	610	
	Orchard	240			Others	620	
	Others	110		Waters (7)	inland water	710	
					marine water	720

Fig. 7. Land-Use Character

3.2 종속변수(교통사고건수) 자료수집

교통사고건수는 교통사고관리시스템인 TMACS를 활용하여, 2008~2010년 지방부 국도국가지원지방도 사고자료 중 사망, 중상 사고 이상의 자료를 수집하였다.

3.2.1 2008~2010년의 전라북도 사고데이터 처리

사고데이터 처리는 GIS 분석을 통해 수행하였고, GIS분석을 수행하기 위해 전라북도 사고자료(2008~2010)를 구축하였다.

본 연구는 사고데이터 중에서 분석구간내 사고데이터만 활용하기 위해 공간분석(Spatial Analysis)을 수행하였다. 공간분석은 ArcMap상에서 두 개 이상의 레이어를 중첩하여 근접성을 분석하는 인접(near)방법을 수행한 후, 겹쳐있는 부분에 대한 속성을 추출하는 교차(intersection)방법을 수행하였다. 그 결과 인접방법에 의해 분석 사고데이터 7,339개 지점 중 443개 지점이 인접의

데이터로 나타났고, 교차방법에 의해 634개 지점의 데이터가 분석구간 내 사고데이터인 것으로 나타났다.

분석구간 내에 634개 데이터에 대해서 앞서 분할한 동질성구간과 매칭하여(Spatial Join-Table Join 기능 이용) ArcMap에 표출되도록 하였다. 표출된 동질구간 표시와 연도별 사고기록을 계상하여 엑셀로 코딩하였다.

Table 5. Number of Accident in Each Road

Years	Line Number	Accident data of the analysis section	Total
2008	1	19	183
	21	11	
	22	36	
	23A	9	
	23B	23	
	23C	25	
	23D	35	
	26	10	
2009	77	15	206
	1	33	
	21	19	
	22	30	
	23A	9	
	23B	22	
	23C	20	
	23D	52	
2010	26	6	245
	77	15	
	1	25	
	21	12	
	22	29	
	23A	22	
	23B	19	
	23C	23	
2010	23D	90	245
	26	4	
	77	21	
	-	-	
Total	-	634	634

Fig. 8. Spatial Analysis Using ArcMap

Fig. 9. Matching of Accident in Each Road Section

4. 모형 개발

4.1 사고요인 분석

4.1.1 기초통계분석

전라북도 권역 조사노선에 대해서 수집된 자료의 사고건수(종속 변수)와 다양한 사고영향변수(독립변수)의 기초통계 분석을 실시하였고, 그 결과는 다음과 같다(Table 6).

4.1.2 사고건수와 독립변수의 상관분석

본 연구는 위의 수집된 사고건수 자료와 사고에 영향을 미칠 수 있는 영향변수들과의 관계를 알아보기 위해 상관분석을 실시하였다. 전라북도 조사권역의 동절성 구간 408개에 대해서 사고건수와 각 영향변수들의 데이터를 정리하여 SPSS 15.0으로 상관분석을 수행하였고, 그 결과 구간길이, 곡선반경, 중분대유무, 가드레일 유무가 상관관계가 큰 것으로 나타났고, 그 중에서도 구간길이의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 상관분석 결과를 표로 정리하면 다음과 같다(Table 7).

Table 6. Statistical Analysis of Variables

Variable	Minimum value	Maximum Value	Average	Standard deviation
The number of accidents (number/3year)	0	18	1.132	2.023
Length of the zone (m)	24	6,295	382.443	465.649
Alignment Type (Curve:1 Straight:0)	0	1	0.522	0.500
horizontal alignment radius (m)	0	2,900	389.426	594.752
horizontal alignment an easement curve (m)	0	451.46	26.266	59.289
vertical alignment slope (%)	-4.2	8.697	-0.013	1.484
Average road line width (m)	2.65	8.95	4.528	1.919
Road width (m)	10.5	33.6	18.127	7.636
Road number(road line)	2	6	3.598	1.212
Design Speed (km/h)	60	80	76.715	7.418
Limit Speed (km/h)	60	80	76.715	7.418
Previous limit speed (km/h)	60	80	76.715	7.418
High rank Road speed (km/h)	60	60	60	0
Lowrank Road speed (km/h)	60	60	60	0
Road sight distance (Ensure=0, Unsure=1)	0	1	0.203	0.403
(volume of) traffic (number/year)	3,865	31,276.67	10,900.16	6,781.102
NO. raining days (day/year)	68.333	99.666	87.157	10.673
NO. snowing days (day/year)	25	29.666	26.481	1.395
NO. foggy days (day/year)	10.666	43	22.870	14.207
NO. Entry and Exit	0	19	1.169	1.893
Additional line (included: 1 Not included:0)	0	1	0.529	0.499
shoulder lane included: 1 Not included:0)	0	1	0.990	0.098
Median strip (included:1 Not included:0)	0	1	0.264	0.441
Median ratio(%)	0	100	27.156	38.836
Guard rail (included:1 Not included:0)	0	1	0.769	0.421
Guard rail ratio(%)	6.593	100	70.494	24.992
Bridge (included:1 not included:0)	0	1	0.080	0.272
Tunnel (included:1 not included:0)	0	1	0.002	0.049
Land use(M)	-	-	-	-
Land use(L)	-	-	-	-

※ Total 408

The number of the section of accidents 179

The number of the section of the Non-accident 229

Table 7. Correlation Analysis

Independent variable	Subordination variable		Independent variable	Subordination variable	
	Corr.	P-value		Corr.	P-value
Section length	0.287**	0.000	Road sight distance	0.063	0.202
Alignment type	-0.037	0.458	Average number of raining days	-0.088*	0.077
Curve radius	-0.098**	0.048	Average number of snowing days	0.046	0.356
easement curve	0.067	0.177	Average number of foggy days	0.162**	0.001
Vertical Grade	0.076	0.124	Number of entry or exit	0.174**	0.000
Median strip	-0.193**	0.000	shoulder lane	0.031	0.531
Median strip(%)	-0.201**	0.000	Additional line	0.073	0.142
Guardrail	-0.180**	0.000	Bridge	0.114**	0.021
Guardrail(%)	-0.192**	0.000	Tunnel	-0.028	0.576
Average lane width	-0.026	0.606	Number of lane	0.058	0.244
Design speed	0.003	0.954	Land use(M)	-0.068	0.396
Limit speed	0.003	0.954	Land use(L)	-0.074	0.355
Pprevious limit speed	0.003	0.954	Average volume of traffic	0.096*	0.053
Road width	-0.207	0.587	**95% significance level, *90% significance level		

4.2 모형구축

도로안전성 분석 모형 개발은 전라북도 조사권역을 대상으로 데이터를 수집하여 음이항 회귀모형을 개발한 후, SPF도출과 CMF 개발 하는 순으로 수행하였다.

4.2.1 안전성능함수(SPF) 개발

안전성능함수(SPF)개발을 위하여 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 적용하여 사고건수추정모형을 개발하였다. 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형 중 어느 모형이 더 적합한지 판별하기 위한 검정에서 음이항 회귀모형의 과분산계수값이 통계적으로 의미있는 것으로 나타나 음이항 회귀모형이 더 적합한 것으로 판단되었다.

음이항 모형 추정결과, 구간길이(+), 평면선형 유형(+), 곡선반경(-), 종단경사(+), 중앙분리대 유무(-), 가드레일 유무(-), 설계속

Table 8. Result of Accident Estimation Model

Variable	Coefficient estimation value	Standard deviation	t	p> t
Section length(per 100m)	0.094	0.019	4.80	0.000
horizontal alignment type (straight=0, curve=1)	0.436	0.202	2.16	0.031
Curve length (per 100m)	-0.046	0.021	-2.18	0.030
Vertical Grade(unit: %)	0.141	0.052	2.69	0.007
median strip (included=0, not included=1)	-1.246	0.234	-5.32	0.000
Guard rail (included=0, not included=1)	-0.338	0.171	-1.98	0.048
Design speed(unit: km/h)	0.057	0.015	3.70	0.000
Road sight distance (ensure=0, unsure=1)	0.574	0.191	3.00	0.003
Volume of traffic (Average for 3 years, 1000)	0.034	0.018	1.85	0.065
Number of foggy days (Average for 3 years, day)	0.017	0.007	2.47	0.013
Number of Entry and Exit	0.091	0.038	2.40	0.016
Additional line (not included=0, included=1)	0.468	0.159	2.94	0.003
Constant	-5.664	1.361	-4.16	0.000
Alpha (over dispersion factors)	0.964	0.173	Pseudo R ²	0.0965

도(+), 도로시거(+), 교통량(+), 안개일수(+), 진출입구수(+), 합분류부 유무(+), 12개 변수가 사고건수에 신뢰수준 95%에서 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

구간길이는 양의 계수를 나타내므로 구간길이가 증가할수록 사고건수도 증가하는 것으로 해석할 수 있으며, 이는 안전성능함수(SPF)개발 시 이용되는 변수이다.

평면선형 유형의 경우 양의 계수를 나타내므로, 직선부보다 곡선부가 사고가 많이 나는 것으로 해석할 수 있으며, 이는 기존연구의 결과와 동일하다.

곡선반경은 음의 계수를 나타내므로, 곡선반경이 짧을수록 사고건수가 증가하는 것으로 해석할 수 있으며, 이는 기존연구 결과와 동일하다.

종단경사는 양의계수를 나타내므로, 종단경사가 오르막 경사면에서 그 기울기가 높을수록 사고가 증가한다고 해석할 수 있다.

중앙분리대와 가드레일 유무는 모두 음의 계수를 나타내므로, 중앙분리대와 가드레일이 설치되지 않은 구간일수록 심각한 사고

(사망 또는 중상사고)가 증가한다고 해석할 수 있다.

설계속도 60 km/h와 80 km/h 두 가지의 도로만 이 연구에서 분석되었다. 설계속도가 80 km/h인 구간이 60 km/h 구간보다 사고건수가 더 증가하는 것으로 해석할 수 있다.

도로시거와 안개일수는 모두 양의 계수를 나타내므로, 도로시거가 미확보되고 안개일수가 많은 구간일수록 사고건수를 증가시키는 것으로 해석할 수 있다.

진출입구수와 합분류 유무는 모두 양의 계수를 나타내므로, 진출입구 수가 증가할수록, 합분류부가 존재할수록 사고건수를 증가시키는 요인이 된다고 해석할 수 있다.

교통량의 경우는 유의확률 95% 이내에 유의한 결과를 보이지 못하였지만, 기존의 연구결과와 성능함수 개발과정에서 꼭 포함되어야 하는 변수이므로, 모형에 포함하여 분석을 수행하였다.

추정된 모형으로 안전성능함수(SPF)를 개발하기 위해서, 도로 기본 조건을 대입하여 구간길이와 교통량을 제외한 모든 변수들을 상수화 처리하였다. 추정된 모형에 대입한 기본도로조건은 다음과 같다.

Table 9. Basic Road Condition

Division	Basic condition
Roadway segment	① Straight line
	② Curve Radius (not included)
	③ Design speed 80km/h
	④ Vertical Grade (not included)
	⑤ additional lane(not included)
	⑥ Road sight distance ensure
	⑦ Median stripe(included)
	⑧ Guard rail (included)
	⑨ Entry and exit section (included)
	⑩ Bridge and tunnel (not included)
	⑪ Weather Condition good

위 조건을 대입하여 개발한 안전성능함수(SPF)의 식은 Eq. (4)와 같이 산정되었다.

$$y_{prediction} = \exp(0.094 \times \text{구간길이} + 0.034 \times \text{교통량} - 2.699) \quad (4)$$

4.2.2 사고수정계수(CMF) 개발

사고수정계수(CMF)는 기본적인 도로조건에서 각 도로조건이 변할 때 얼마나 사고에 영향을 미치는가를 계산하는 계수이다. 예를들어, 국도 1호선 STA. 0+240.00 ~ 0+378.00 구간의 중앙분리대 CMF를 계산하여 보면, 기본적인 도로조건의 SPF에 구간길이 138 m와 교통량 5,084대를 대입하면 0.090934건의 사고건수가

예측된다. 기본조건은 중앙분리대가 있는 조건이므로, 중앙분리대 유무 변수에 '1'을 입력하였으나, 중분대가 없을 경우에는 '0'을 SPF 식에 입력하여 사고건수를 예측하면 0.316249건이 계산된다. 그러므로 중앙분리대 유무의 CMF값은 $0.316249 / 0.090934 = 3.4778003$ 으로 계산된다. 이러한 방법에 의해 사고건수 영향요인으로 들어간 변수 9개에 대하여 CMF를 계산하였고, 그 결과는 다음과 같다.

Table 10. Result of CMF

Variable		CMF
Median include or not include	include	1.000
	not include	3.478
Guard rail include or not include	include	1.000
	not include	1.402
Sight distance ensure or unsure	include	1.000
	not include	1.775
Additional lane include or not include	include	1.597
	not include	1.000
Geometric alignment type	Straight line	1.000
	Curve	1.546
Curve Radius	400m	1.289
	600m	1.176
	800m	1.074
Vertical alignment slope	0%	1.000
	3%	1.525
	6%	2.326
Number of foggy days	0 day	1.000
	10 day	1.182
	20 day	1.397
	30 day	1.652
	40 day	1.953
Number of Entry and Exit	0개	1.000
	1개	1.096
	2개	1.200
	3개	1.315
	4개	1.440
	5개	1.578

4.3 모형 적합도 검증

4.3.1 경험적베이즈(EB:Empirical Bayes)방법 적용

경험적 베이즈 방법의 적용은 현재 교통안전분야에서는 사전사후분석 시에 많이 활용되고 있으나, 추정값과 실제 관측값을 어떻게 조합하는지에 대한 방법을 제시하는 것이다(George Casella, 1985).

예를 들어, Ontario에 사는 초보운전자가 처음 1년간 사고가 발생하지 않았으나, 평균적으로 Ontario에 사는 초보운전자들은 0.08건/년 사고를 일으킨다고 알려져 있다. 이런 경우 오직 사고기록에만 의존하게 되면 이 운전자는 1년간 사고를 한 번도 내지 않는다고 주장을 할 수 있고 사고기록을 무시하면 이 운전자는 연간 0.08건의 사고를 발생시킬 수 있다고 할 수 있다. 그러므로 좀 더 정확한 추정을 위해서는 이 두 가지 모두를 결합한 방법이 필요하다. 이 결합방법이 바로 경험적 베이즈안 방법(EB)라고 할 수 있으며 그 식은 다음과 같다(Hauer, 2002).

$$E[k|K] = \omega E[k] + (1 - \omega)K \quad (5)$$

ω = 가중치

$E[k]$ = 추정된 평균교통사고건수

K = 관측교통사고건수

기대사고건수 $E[k|K]$ 추정모형에서 가중치(ω)는 0~1 의 값을 가지며, 해당지점의 분산($\hat{Var}[k]$)또는 과분산계수(ϕ)를 이용하여 설정한다.

가중평균수는 해당지점의 관측자료 K 의 오차($K - \hat{E}[k]$)가 클 경우 추정치($\hat{E}[k]$)의 비중이 높아지게 되는 구조로 해당지점의 가중치는 Eq. (6)에 의해 산정한다.

$$\omega = \frac{1}{1 + \frac{VAR[k]}{E[k]}} \quad (6)$$

4.3.2 모형 적합도 검증 방법

본 연구에서는 모형의 적합도 검증 방법으로 평균예측편의(MPB: Mean Prediction Bias)와 평균절대이탈도(MAD: Mean Absolute Deviation), 평균제곱근오차(RMSE: Root-Mean-Square simulation Error)를 사용하였다.

평균예측편의(MPB)는 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료에 대해서 모형에 의한 결과값이 어느 정도 그리고 어떻게 치우쳐 있는지를 판단할 수 있는 기준을 제시한다. 이 방법에 의한 결과값이 작을수록 모형의 예측값은 정확하다는 것을 의미하며, 산정식은 Eq. (7)과 같다.

$$MPB = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (7)$$

Y_i : 종속변수로 사용된 자료

$\hat{Y}_i$: 모형에 의한 결과값

n : 표본수

평균절대이탈도(MAD)는 모형의 예측값이 평균적으로 얼마나 잘못 예측되었는지를 판단할 수 있는 척도를 제시한다. 이 방법이 평균예측편의(MPB)와 다른 점은 각 수치가 음과 양의 차이로 인해 상쇄되지 않는다. 평균 절대 이탈도는 결과값이 0에 가까울수록 모형이 실제의 관측된 자료에 부합되는 결과를 나타냄을 의미하며, 산정식은 Eq. (8)과 같다.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (8)$$

Y_i : 종속변수로 사용된 자료

$\hat{Y}_i$: 모형에 의한 결과값

n : 표본수

평균제곱근오차(RMSE)는 통계학의 표준오차와 유사한 값으로 직관적이면서도 의미있는 근사모델의 정확도 평가방법이다. 이 값은 추정치와 실측치간의 평균 값에 대한 분산정도를 의미하며 모형의 적합성을 판별한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t^s - Y_t^a)^2} \quad (9)$$

Y_t^s : Y_t 의 추정값

Y_t^a : Y_t 의 실측값

T : 관측수

4.3.3 모형 적합도 검증결과

모형의 검증은 모형 산정 시 제외되었던 노선 국도 13호선 남약교 차로~개정교차로 구간, 국도 22호선 팔형치사거리~반암교차로

Fig. 10. Observed and Predicted Accidents

구간을 대하여 EB 방법에 의해 추정된 사고건수와 실제 관측사고건수를 비교하였다.

4.3.2에서 제시한 계산식으로 EB 추정값과 비교분석한 결과, 평균예측편의(MPB)는 실측값과 추정값(EB추정값)의 차이를 부호에 상관없이 더하여 평균내는 방법으로 0.007이 나타났다. 평균절대이탈도(MAD)는 실측값과 추정값의 차이를 절대값으로 더하여 평균내는 방법으로 0.40이 나왔으며, 기존 사고모형 관련 연구(Gianluca Dell's Acqua (2011), Mohammed A. Quddus (2008), 이동민(2008))에서 MPB는 -0.45~0.45, MAD는 0~1.43정도를 나타내 본 연구의 모형은 적합도가 높은 것으로 판단된다.

평균제곱근오차(RMSE) 역시, EB추정값과 실측값으로 비교한 결과 0.84가 나왔으며, 작을수록 적합도가 좋은 모형이므로 본 모형은 적합도가 높다고 판단된다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서 도로의 선형 및 시설 개량에 있어 과학적으로 잠재적 사고위험성을 포함한 도로안전성을 분석할 수 있는 모형을 개발하였다.

모형을 개발하기 위해 전라북도 국도 권역을 중심으로 사고건수와 도로의 선형, 교통량, 기상환경, 기타 도로시설 등 23개항목의 자료를 수집하였고, 기하구조에 따라 동질성 구간으로 분할하여 분석데이터를 구축하였다.

도로안전성 분석모형은 음이항회귀모형으로 구축하였으며, 구간길이, 평면선형유형, 곡선반경, 종단경사, 중앙분리대 유무, 가드레일 유무, 설계속도, 도로시거, 교통량, 안개일수, 진출입구수, 합분류부 유무 등 12개 변수가 사고에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 추정된 모형으로 SPF와 CMF를 산정하였으며, EB방법을 이용하여 실제발생한 사고건수와 결합하여 구간별 사고건수를 추정하였다. EB에 의한 추정사고건수와 실측사고건수를 MPB (0.007), MAD (0.40), RMSE (0.84)로 모형 적합도를 검증한 결과 모형의 적합성이 있는 것으로 나타났다.

따라서 개발한 모형을 바탕으로 도로조건 등에 따라 사고건수를 예측함으로써, 과거에 발생한 사고건수에 의존하지 않고 객관적으로 도로의 안전성을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 전라북도 국도의 데이터만을 이용하여 모형을 구축하였다는 한계가 있으므로, 향후에는 전국 국도를 대상으로 영향변수를 조사하여 모형을 개발하면 더 신뢰성이 있고, 범용적인 모형을 구축할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 모형을 기반으로 도로의 안전성을 분석한 결과와 실제 시설개량사업 등의 안전사업이 이루어진 도로구간의 사고발생수를 비교하는 것은 의미가 있을 것으로 판단된다.

개발된 모형은 교차로 구간을 제외한 도로구간에 대해서 사고모형을 구축하였으므로, 향후에는 교차로 구간의 좌회전차로 여부, 우회전차로 여부, 횡단보도 수, 차로수 등을 영향변수에 포함하여 교차로의 안전성 분석 모형을 개발할 필요가 있다.

References

- AASHTO (2010). *Highway Safety Manual*.
- Ahn, Y. T. (1999). *An analysis of the road characteristics to effects on traffic accidents*, Msater Degree Paper, Chung Buk National University, Korea (in Korean).
- Ciro, C. (2007). "A crash-prediction model for multilane roads." *Accident Analysis and Prevention, Elsevier*, Vol. 39, No. 4, pp. 657-670.
- George, C. (1985). "An introduction to empirical bayes data analysis." *American Statistician*, Vol. 39, No. 2, pp. 83-87.
- Gianluca Dell's Acqua. (2011). "Accident Prediction Models for Road Networks." (in Spanish).
- Harwood, D. W., Bauer, K. M., Potts, I. B., Torbic, D. J., Richard, K. R., Kohlman Rabbani, E. R., Hauer, E., Elefteriadou, L. and Griffith, M. S. (2003). *Safety effectiveness of intersection left - and right - turn lanes*, TRID, Federal Highway Administration, pp. 131-139.
- Harwood, D. W., Council, F. M., Hauer, E. and Vogt, A. (2000). *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*, TRID, Federal Highway Administration, p. 197.
- Hauer. (2002). "Estimating Safety by the Empirical Bayes Method." TRR 1784, pp. 02-2181.
- Hedman. (1990). *Road design and safety*, VTI RepoH 315A.
- Kang, B. D. (2002). *Road Safety facilities installation and management manual* Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- Kang, Y. G., Sul, and Jo, S. H. (1989). *Study on the improvement measures of traffic accident black spots and final report of installment guidelines on road safety features*, The Korea Transport Institute (in Korean).
- Kim, E. C., Lee, D. M. and Kim, D. H. (2008). "Development of traffic accident frequency model for ecaluating safety at rural signalized intersections." *International Journal Highway Engineering*, Korean Society of Road Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 53-63 (in Korean).
- Kim, G. S. (1997). "A study on the relationships between roadway geometries and safety." *The Korea Satial Planning Review*, Korea research institute for human settlements, Vol. 26, pp. 147-160 (in Korean).
- Kim, H. D. (2001). *The effect of road environmental characteristics on traffic accident*, Master Degree Paper, Seoul National University, Korea (in Korean).
- Kim, K. S. (2002). *Improvement of road facilities for efficient use of technical of national facilities*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- Korea Agency for infrastructure Technology Advancement. (2009).

- Research and development on safety oriented traffic environment*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- Korea Institute of Construction Technology. (2013). *Automated road analysis and safety evaluation (ARASEO)* (in Korean).
- Krebs and Kloeckner. (1997). *Investigations of the effect of highway and traffic conditions outside built-up areas on accident rates*, Research Road Construction and Traffic Technique, Minister of Transportation (in German).
- Mohammed, A. (2008). "Time series count data models: An Empirical Application to Traffic Accidents." *Accident Analysis and Prevention*, Elsevier, Vol. 40, No. 5, pp. 1732-1741.
- Park, J. T., Lee, S. B., Kim, J. W. and Lee, D. M. (2008). "Development of a traffic accident prediction model for urban signalized intersections." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 26, No. 4, pp. 99-100 (in Korean).
- Samsung Traffic Research Institute. (2004). *improvement planning on traffic accident black spots and an anlysis of the result* (in Korean).
- Samuel, L. (2006). *Effects of geometric characteristics of rural two-lane roads on safety*, Final Reports FHWA/IN/JTRP-2005/2, Purdue e-Pubs, Purdue University.
- Sokolow (1992). *Access management and its role in congestion management*, Florida Department of Transportation, RA/International Conference Centre Amsterdam.
- Yang, S. J. (2002). *A final study on improvement of performance standard on the delineation system*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (in Korean).
- Zegeer. (1987). "Accident relationships of roadway width on low-volume roads." *Transportation Research Records 1445*, pp. 1-5.