

# 데이터 기반의 도로구간별 운전자의 통행행태를 고려한 교통사고지표 개발

이승봉<sup>1</sup> · 장현호<sup>1\*</sup> · 천승훈<sup>2</sup> · 백승걸<sup>3</sup> · 이영인<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 환경대학원, <sup>2</sup>한국교통연구원 국가교통조사분석사업단, <sup>3</sup>한국도로공사 도로교통연구원

## Development of Traffic Accident Index Considering Driving Behavior of a Data Based

LEE, Soongbong<sup>1</sup> · CHANG, Hyunho<sup>1\*</sup> · CHEON, Seunghoon<sup>2</sup> · BAEK, Seungkil<sup>3</sup> · LEE, Young-lhn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>2</sup>Center for Korea Database, The Korea Transport Institute, Sejong 30147, Korea

<sup>3</sup>Expressway and Transportation Research Institute, Gyeonggi 18489, Korea

\*Corresponding author: [nettrek@snu.ac.kr](mailto:nettrek@snu.ac.kr)

### Abstract

Highway is mainly in charge of middle-long distance of vehicular travel. Trip length has shown a growing trend due to increased commute distances by the relocation of public agencies. For this reason, the proportion of driver-driven accidents, caused by their fatigue or sleepiness, are very high on highways. However, existing studies related to accident prediction have mainly considered external factors, such as road conditions, environmental factors and vehicle factors, without driving behavior. In this study, we suggested an accident index (FDR, Fatigued Driving Rate) based on traffic behavior using large-scale Car Navigation path data, and explored the relationship between FDR and traffic accidents. As a result, FDR and traffic accidents showed a high correlation. This confirmed the need for a paradigm shift (from facilities to travel behavior) in traffic accident prediction studies. FDR proposed in this study will be utilized in a variety of fields. For example, in providing information to prevent traffic accidents (sleepiness, reckless driving, etc) in advance, utilization of core technologies in highway safety diagnostics, selection of priority location of rest areas and shelter, and selection of attraction methods (rumble strips, grooving) for attention for fatigued sections.

**Keywords:** AR(accident rate), FDR(fatigued driving rate), navigation data, path travel time, path travel length

### 초록

고속도로는 중·장거리 차량 통행을 담당하고 있으며, 공공기관들의 지방이전 등으로 인해 직장과 거주지 간의 거리가 멀어짐에 따라 운전자들의 통행거리는 증가 추세를 보이고 있다. 이러한 이유로 고속도로에서는 피로나 졸음으로 인한 운전자요인 사고의 비중이 매우 높다. 하지만 기존의 사고예측 연구에서는 주로 도로요인, 환경요인, 차량요인 등 외적인 조건만을 고려하였을 뿐 도로구간별 운전자의 통행행태를 고려하지 못하였다. 본 연구에서는 대용량 내비게이션 경로자료를 활용하여 통행행태기반의 사고지표(운전피로도지표)를 제안하고, 교통사고와의 관계를 살펴보았다. 분석결과 개발된 지표와 교통사고와는 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 이를 통해 시설물 위주에서 통행행태기반으로 교통사고 예측연구의 패러다임 변화가 필요함을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 제안한 지표는 다양한 분야에서 활용이 가능할 것이다. 교통사고(졸음, 부주의운전 등)를 사전에 방지하기 위한 정보제공, 고속도로 안전진단 핵심

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.34, No.4, pp.341-353, August 2016  
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.4.341>  
pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

Received: 17 March 2016

Revised: 31 May 2016

Accepted: 25 August 2016

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

요소기술로의 활용, 휴게소 및 졸음쉼터 입지 우선순위 선정 시, 피로한 구간에 대하여 운전자에게 주의환기를 위한 방법(노면요철, 그루빙 등)을 적용해야하는 구간 선정 시 활용이 가능할 것이다.

**주요어:** 사고율, 운전피로도 지표, 내비게이션 데이터, 경로통행시간, 경로통행거리

## 서론

현대사회는 경제활동을 통한 이익 창출이 중요한 가치를 지니고 있으며 시간도 자본으로 여겨질 만큼 중요성이 크게 증가하고 있다. 이 같은 사회적 환경변화에 따라 운수업 종사자들의 작업시간은 길어졌으며, 물류이동의 정시성 요구와 운송사업 부문에서의 각종 규제철폐 등의 요인으로 운송사업 간의 경쟁 과다 등이 결과적으로 운전피로와 졸음운전에 대한 국제적 관심을 불러 일으켰다(Hartley, 2004). 또한, 국내화물수송분담률은 공로가 90.7% (Statistical year book of molit, 2013)이며, 이중 장거리 통행의 대부분은 고속도로가 담당하고 있다. 여객통행은 공공기관들의 지방이전 등으로 인해 직장과 거주지 간의 거리가 멀어짐에 따라 운전자들의 통행거리 및 통행시간이 증가하고 있다. KTDB에서 제공하는 고속도로의 차종별 주행거리를 살펴보면 공공기관의 이전이 본격적으로 시행되었던 2010년 이후 승용차의 주행거리는 연평균 4.75% 증가추세를 보이는 것으로 분석되었다. 고속도로는 중·장거리 통행의 대부분을 담당하고 있다. 이러한 이유로 고속도로에서는 피로나 졸음으로 인한 사고의 비중이 매우 높다.

고속도로에서 교통사고를 유발하는 요인은 도로요인(도로구조/안전시설), 차량요인(차량구조, 차량상태), 환경요인(자연환경/교통환경), 인적요인(신체적조건, 심리적 조건) 등 복합적인 영향으로 인하여 발생하게 된다. 기존의 교통사고와 관련된 연구들은 주로 사고발생지점의 도로요인 및 환경요인 즉, 외부적 조건 등을 반영한 모형개발에 초점을 맞추고 있다. Wylie et al.(1996)에 따르면 고속도로에서 발생하는 사고 중 약 절반 이상의 원인을 운전자의 피로도 누적으로 인한 조작오류가 원인이라고 보고하고 있다. 따라서 운전자의 피로도 정도를 측정할 수 있는 연구는 고속도로를 통행하는 운전의 안전을 위해 매우 중요하다.

2008-2014년 8월까지 전국 고속도로에서 발생한 사고를 살펴보면 총 사고발생건수 64,354건 중 운전자요인으로 인한 사고건수는 47,838건으로 전체사고의 약 74%에 해당한다. 하지만 기존의 도로요인 및 환경요인 기반의 사고예측모형으로는 운전자요인(졸음, 주시태만, 안전거리 미확보, 과속 등)으로 인한 사고를 설명하는데 한계가 있다. 또한, 고속도로는 최상위 도로로서 국도 및 도시부도로에 비하여 양호한 기하구조 조건을 갖고 있으므로 교통조건이 양호한 구간에서 높은 사고율을 설명하기 어렵다. 고속도로의 경우 졸음, 부주의 운전 등으로 인한 사고율이 매우 높지만 기존의 교통사고 예측모형은 이를 고려하지 못하고 있다(Baek et al., 2005).

그동안 고속도로 안전진단은 hardware(설계부문), 교통자료(교통량, 속도 등)에만 집중되어 중·장거리 통행을 담당하는 고속도로 운전자의 운전 누적부하를 고려한 생리적인 측면(졸음, 피로도 등)을 고려하지 못하였다. 또한, 기종점간 다중경로화는 고속도로 운전자의 생리학적 운전피로도(fatigue)에 변화를 가져오며, 이는 기존 교통사고 예측모형으로는 분석이 어려운 실정이다.

현재까지 운전자의 내적조건을 고려한 교통사고 요인분석에 관한 연구는 미흡하였다. 본 연구에서는 경부고속도로와 서해안고속도로를 대상으로 분석을 수행하였다. 분석데이터는 2014년 1년치의 내비게이션 경로자료를 활용하였고, 대상구간을 통행한 개별 차량의 경로통행시간과 통행거리분포를 구축하여 운전자의 피로도도와 교통사고율과의 관계를 분석하였고,

본 연구에서는 기존의 도로요인, 환경요인 중심의 교통사고 연구에서 이용자 행태기반으로 교통안전 분야의 패러다임 변화 필요성을 제기하고자 한다. 이를 통해 그동안 설명하기 어려웠던 운전자 요인 사고의 설명력을 높이는데 기여할 수 있을 것이다.

## 기존연구 고찰

### 1. 교통사고모형 관련 연구

교통사고분석은 도로유형에 따라 연속류와 단속류로 분류되며, 각 형태별로 교통사고에 미치는 요인은 차이를 보이고 있다. 본 연구는 고속도로를 대상으로 한 연구이므로 연속류를 대상으로 한 교통사고 요인분석과 관련된 기존의 연구를 고찰하였다.

교통사고에 영향을 미치는 요인은 크게 인적요인, 차량요인, 환경요인, 도로요인으로 구분되어진다. 기존에 개발된 교통사고 모형을 살펴보면 사고발생 지점의 환경요인, 도로요인들을 고려한 연구들이 대부분이었다. 일부연구에서 인적요인을 고려한 연구들이 있지만, 대부분 성별, 연령만을 고려하였을 뿐, 운전자의 통행행태를 고려한 연구는 미미하였다.

Table 1. Factors of Traffic accident model research

	Variables	number	Studies
human factor	sex	5	2,3,4,7,9
	age	5	1,2,3,4,7
vehicle factor	vehicle type	6	1,2,3,9,12,13
environmental factor	time	9	1,2,3,4,6,7,9,11,12
	volume	6	6,8,10,13,15,16
	speed	6	1,5,6,8,9,10,17
	season	3	1,2,4
	number of accident car	3	2,3,4
	weather	2	2,8
	road factor	vertical alignment	9
horizontal alignment		7	3,5,6,8,9,10,12
road condition		4	1,3,9,12
radius of curve		3	14,15,16
length		3	13,15,16
shoulder width		3	2,4,15
lighting system		2	2,4
lane width		2	2,4
number of lanes		2	6,15
number of curves		2	13,16
sight distance		2	2,4

notes: 1=Ali(2014), 2=Joaquin(2013), 3=Lee(2008), 4=Juan(2013), 5=Venkataraman(1995), 6=Vatanavongs(2014), 7=Martha(2000), 8=Yun (2012), 9=Moon(2011), 10=Won(2009), 11=Kim(2012), 12=Lee(2011), 13=Moon(2012), 14=Choi(2012), 15=Park(2014), 16=Hwang(2010), 17=Jeong(2011)

### 2. 피로도와 교통사고와의 관계에 관한 연구

국외에서는 그 동안 피로나 졸음으로 인한 교통사고 위험에 대해 많은 연구가 이뤄져 왔으나 우리나라의 경우 졸음운전 사고나 실태조사와 관련된 연구가 대부분으로 관련대책을 마련하는데 있어 기초가 부족한 실정이다. 우리나라의 경우 전체 교통사고건수가 감소하면서 졸음운전 교통사고의 발생건수도 감소추세에 있으나, 여전히 상대적으로 높은 사망률을 보이고 있다.

피로(fatigue)는 작업에 필요한 능력이 감소한 상태를 의미하며, 연속적인 작업수행과 신체 및 정신에 영향을 주는 심리·환경·사회경제적 요인에 의해서도 발생한다. 피로가 누적되면 선택적 주의, 복잡한 의사결정, 자동화된 지각-운동 제어기능과 같은 인지적 활동들의 기능이 저하된다. 이것들이 점진적 주의력 약화로 나타나게 되고, 이는 곧 졸음의 증상으로 발현한다(Brown, 1994). 또한, 장시간의 운전 및 장거리 운전은 운전자에게 가해지는 일종의

스트레스라고 할 수 있으며, 장시간 운전 시에는 지속적인 스트레스를 받게 되므로 신체의 생리학적인 요소들에 의해 변화가 일어나게 될 것이다.

Kim et al.(2003)은 자동차 운전자의 주행피로도를 생리신호를 이용하여 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 제안하였다. 분석은 운행시간에 따라 EMG(Electromyography) 신호에 의한 근피로 평가와 Flicker를 이용한 눈 피로도 평가를 수행하였다. 분석결과 운전 시간에 따른 피로는 대략 운전을 시작한지 60-90분 이후부터 급격하게 증가하는 것으로 나타났다.

Lee et al.(2008)은 피로를 유발하는 주요 요인으로 운전부하(workload)를 꼽았다. NASA-TLX(NASA-Task Load Index)를 이용하여 운전자의 작업부하와 피로간의 관계를 분석한 결과 승용차 운전자들은 장시간 운전 때 큰 신체적 부담에 의해서, 그리고 화물차 운전자들은 정신적 부담과 신체적 부담 및 시간적 부담에 의해 운전피로가 발생하는 것으로 나타났다.

Park(2010)는 장거리 운행이 많은 화물자동차 운전자의 운행시간에 따른 사고위험도를 분석하였다. 분석은 사고가 발생한 운행일지와 발생하지 않은 운행일지를 비교분석하였다. 분석결과 운행시간 1-3시간 까지 운전한 운전자의 사고위험도 차이는 없는 것으로 나타났다. 하지만 3시간 이상 운행한 경우는 비선형적으로 증가함을 보였고, 운행시간이 10시간인 운전자는 운행시간 1시간 운전자보다 사고위험도가 2.2배 높은 것으로 분석되었다.

Lee(2006)은 수면부족(수면 박탈)과 운전지속시간이 운전자의 운전 수행에 어떠한 영향을 주는지 운전시뮬레이션을 이용하여 살펴보았다. 목표 운전속도로부터의 이탈정도와 운전속도 변산성을 분석한 결과 수면이 박탈된 상태로 60분 이상 운전한 운전자들은 다른 조건에 비해 목표 운전속도에 밀도는 운전속도로 운전하였을 뿐만 아니라 운전 속도의 변산성도 높은 것으로 나타났다. 차량에 대한 횡적 측정치들을 살펴보면 수면박탈이나 운전 지속시간에 의해 피로가 증가할 경우 차량의 횡적 통제에 대한 운전자들의 수행은 일반적으로 저조해지는 것으로 나타났다.

Sung et al.(2003)는 실제 고속도로를 주행하는 실험을 통해 운전자의 심전도 신호(HRV, heart rate variability)를 수집하여 장시간 운전을 하는 경우에 운전자의 상태를 분석하였다. HRV 매개변수의 시간대별 변화와 통계적 유의성 분석결과 대부분 60-90분을 전후로 유의한 것으로 나타났다. 즉, 운전시간 증가에 의한 변화는 약 1시간 이후로 추정할 수 있으며, 이 시간을 기준으로 운전자에게 일정한 휴식기간이 필요하다. 또한, 운전자의 신체변화는 운전시간대가 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Lin et al.(1994)은 1924명의 운행일지를 이용하여 운전자의 나이, 경력, 운행행태, 운전시간 등을 수집하여 화물자동차 운전자 사고에 미치는 요인 및 사고율에 대하여 분석하였다. 분석결과 운행행태에 따른 운행시간이 운전자 사고에 중요한 요인으로 나타났다. 또한 운전시간은 4시간 이상 운전할 경우 1시간 운전한 운전자 보다 약 1.5배 사고위험이 높게 나타났다.

Baek et al.(2005)은 고속도로 사고율과 통행거리 분포(TLFD)를 이용하여 공간적, 시간적으로 변화하는 운전자의 심리적·생리적 인적요인을 고려할 수 있는 지표인 잠재사고비율(PAR: Potential Accident Ratio) 지표를 제안하였고, 사고율과 밀접한 관계가 있음을 증명하였다. 또한 잠재적으로 사고가 발생할 수 있는 운전지속시간을 2시간으로 정의하였다.

Tucker(2003)는 운전시간과 사고위험의 관계를 언급하면서, 휴식은 피로에 의한 운전수행능력 감소를 예방하는데 효과적임을 밝혔다. 또한, 2시간 간격의 휴식이 운전뿐만 아니라 많은 산업에서 일반적임을 예를 들면서 피로에 따른 위험의 관리차원에서 필요함을 강조하였다. 또한, 국내관계기관(한국도로공사, 한국자동차협회, 한국운수산업연구원), 영국의 Highway Code 등 고속도로 운전에서 2시간 주행 후 휴식을 권장하고 있다.

### 3. 시사점 도출

기존의 사고모형과 관련된 국내외 연구를 검토한 결과 대부분의 연구에서 사고발생지점의 도로요인, 환경요인, 차량요인과 같은 외적 변수들만을 대상으로 모형을 구축하였다. 하지만 사고자료 분석결과 고속도로에서 발생한 사

고 중 약 74%가 운전자 요인에 의한 사고인 것으로 나타났다. 또한 세부요인별로 살펴보면 과속(21%), 주시태만(20%), 졸음(14%)의 순으로 나타났다. 하지만 그동안의 연구에서는 운전자요인 사고를 설명할 수 있는 변수들을 고려하지 못한 한계가 있다.

피로도와 교통사고와의 관계와 관련된 연구들을 검토한 결과 대부분의 연구에서 1시간 이후부터는 사고의 위험성이 증가하며, 2시간 이후부터는 급격히 증가할 수 있음을 제시하고 있으며, 국내 관계기관(한국도로공사, 한국자동차 협회, 한국운수산업연구원 등)에서 고속도로 운전이 있어서 2시간 주행 후 휴식을 권장하고 있는 것으로 나타났다.

고속도로는 그동안 지속적인 안전진단과 설계기준의 향상으로 기하구조 등에 의한 사고율은 한계치 이하로 감소되었다고 판단된다. 또한 공공기관의 지방이전 등으로 인해 직장과 거주지 간의 거리가 멀어짐에 따라 운전자들의 통행거리는 증가추세에 있다.

본 연구에서는 기존의 연구에서 고려하지 못하였던 운전자의 통행행태를 고려하기 위하여 운전피로도 지표를 제안하고, 이를 통해 그동안 설명하지 못하였던 운전자 요인 사고에 대한 설명력을 높이는데 기여할 수 있을 것이다.

## 통행행태기반 사고 지표개발

기존에 운전자요인 사고를 설명하지 못했던 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 도로구간별로 통행행태 기반 지표인 운전피로도 지표(FDR)를 제안한다. 해당지표 개발을 위해서는 교통사고자료와 도로구간을 이용한 개별차량들의 경로자료가 필요하다. 그동안은 자료 수집의 한계로 구축이 불가능하였지만, 차량에 장착된 내비게이션에서 수집되는 경로자료의 활용으로 자료의 구축이 가능해졌다. 통행행태 기반 사고지표 개발과정은 다음과 같이 진행된다.

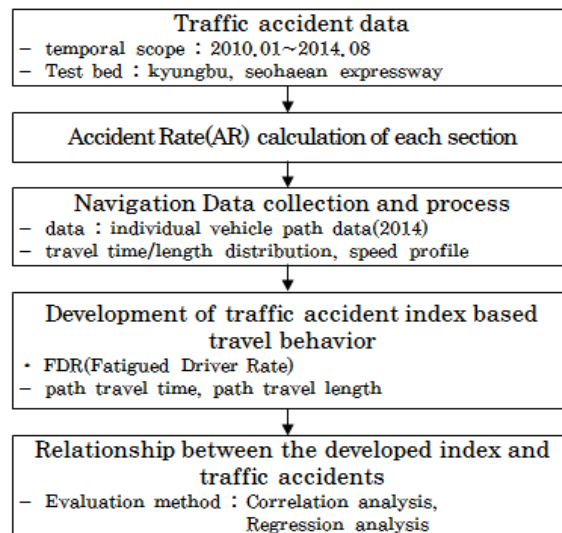


Figure 1. Research procedure

### 1. 교통사고자료 구축

본 연구에서는 통행행태 기반의 사고지표 분석을 위한 공간적 범위를 경부고속도로와 서해안고속도로를 대상으로 하였고, 사고자료의 시간적 범위는 2010-2014년 8월까지(최근 5년치)의 자료를 이용하였다. 고속도로 사고자료는 개별 사고별로 노선정보, 방향, 이정, 사고정보, 기타 세부사항들의 정보들을 포함하고 있다. 링크별로 사고자

료를 매칭하기 위하여 노선, 방향, 이정의 정보를 이용하여 매칭하는 작업을 수행하였다. 또한 사고자료는 본선에서 발생한 자료를 대상으로 하였고, 자료 집계 시 IC/JC지점의 ± 150m 지점의 사고는 분석에서 제외하였다. IC/ JC 구간은 분류와 합류가 빈번히 발생하는 지점으로 기하구조에 따른 영향이 훨씬 클 것으로 판단되며, 분·합류 허용구간의 길이를 반영하여 ±150m 이내의 사고를 제외하였다. 마지막으로, 톨게이트(TG)와 터널을 포함한 본선구간은 분석에서 제외하였다. TG구간은 차량의 분합류로 인한 사고가 빈번히 발생하며, 터널구간 역시 기하구조와 시인성 관련 요인의 영향으로 본선구간에 비하여 사고가 빈번히 발생하여 사고의 행태가 큰 차이를 보이기 때문이다.

분석에 사용된 사고자료의 세부적인 사항은 다음과 같다. 경부고속도로에서 발생한 사고 건수는 총 7,285건이었으며, 사고원인에 따라서 운전자요인에 의한 사고건수는 5,102건으로 약 70%로 나타났고, 서해안고속도로에서 발생한 사고건수는 총 3,930건이며, 운전자요인에 의한 사고는 2,941건으로 약 75%로 나타났다.

**Table 2.** Test beds and characteristics of traffic accident data

test bed	total number of accidents	accident factors					
		driver		vehicle		the others	
		no.	pct.	no.	pct.	no.	pct.
kyoungbu expressway	7,285	5,102	70.0	623	8.6	1,560	21.4
seohaean expressway	3,930	2,941	74.8	472	12.0	517	13.2

## 2. 교통사고율(AR) 산정

교통사고율은 기존의 연구들에서 교통사고 발생건수(또는 사망자수)를 교통사고 노출지표로 나누어 산정하고 있다. 교통안전 연구 분야의 선행연구들에서 교통사고 노출도(Traffic Accident Exposure) 지표는 교통사고에 직·간접적인 영향을 주는 요인으로 사고를 발생시킬 수 있는 기회의 수라는 개념으로 정의되고 있다. 교통사고 발생정도를 설명할 수 있는 지표로 이용되는 교통사고율로는 인구당 사고율, 자동차등록대수당 사고율, 도로연장당 사고율, 자동차 주행거리당 사고율 등이 개발되었다.

본 연구에서는 해당 도로구간의 교통량을 고려한 교통사고율(건/백만대·km)을 이용하며, 이는 해당링크의 1km 구간을 100만대의 차량이 통과했을 때 사고가 발생할 수 있는 건수의 개념이다. 사고율(AR : Accident Rate) 지표의 산정식은 Equation(1)과 같다.

$$AR_i = \frac{n_i}{365 \times aadt_i \times length_i} \times 10^6 \quad \forall i \tag{1}$$

여기서,

- $n$  : 사고건수(건/년)
- $aadt$  : 연평균일교통량(대/일)
- $length$  : 연장(km)

## 3. 내비게이션 자료수집 및 가공

운전자요인 지표를 산정하기 위하여 본 연구에서는 GPS기반 Car Navigation데이터를 이용하였다. 내비게이션 원시자료는 단말기ID, 링크ID, 속도정보, 해당링크의 진입시간, 진출시간 정보와 각 링크를 통행한 정보, 즉 경로정보를 갖고 있다.

본 연구에서는 2014년 1년치 내비게이션 경로자료를 분석에 사용하였고, 해당링크를 통과하는 개별차량에 대해 기점에서부터의 경로통행시간, 통행거리분포 정보를 구축하였다. 자료구축 시 휴게소/졸음쉼터 등을 이용하는 차

량을 제외하기 위하여 고속도로 본선 상에서 통행이 발생한 통행은 분석에서 제외하였고, 고속도로 이외의 도로에서 통행발생이 이루어진 차량만을 대상으로 자료를 수집하였다.

Baek(2005)은 자료수집의 한계로 기점에서 고속도로에 접근하는 시간을 산정할 수 없어 통행시간분포를 가정하여 적용하였다. 본 연구에서는 내비게이션 자료를 활용하여 출발지에서 고속도로에 접근하는 시간까지 고려할 수 있는 장점이 있다. 경로통행시간 분포는 1분단위로 0-500분, 통행거리도 1km단위로 0-500km의 범위로 하여 자료를 구축하였다.

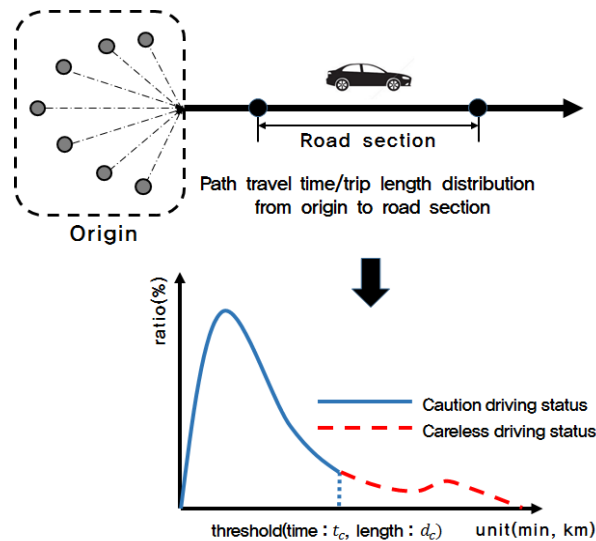


Figure 2. Car navigation data collection

#### 4. 운전피로도(FDR)지표 개발

운전피로도 지표(FDR, Fatigued Driver Rate)는 내비게이션 경로자료를 이용하여 해당구간을 통행한 전체 차량 중 임계치를 초과하는 차량의 비율로 정의하며, 경로통행시간과 통행거리 기반의 지표로 구분하여 개발하였다.

통행시간과 운전피로도와 관련된 기존의 연구들을 고찰한 결과 대부분의 연구에서 1시간 이후부터는 사고의 위험성이 증가하며, 2시간 이후부터는 급격히 증가할 수 있음을 분석을 통해서 제시하고 있으며(Kim et al.(2003), Lee(2006), Sung et al.(2003), Baek et al.(2005)), 국내 관계기관(한국도로공사, 한국자동차 협회, 한국운수산업연구원 등)에서 고속도로 운전에서 2시간 주행 후 휴식을 권장하고 있다.

본 연구에서는 해당링크를 통과하는 차량의 경로자료를 추출하여 링크별로 기점에서 해당링크까지의 경로통행시간, 통행거리 자료를 수집하였고, 이를 1-500분(or km)의 범위로 구축하였다.

운전피로도 지표 산정을 위해서 통행시간, 통행거리의 임계치는 선행연구들의 결과를 바탕으로 기준을 설정하고, 민감도 분석을 통하여 사고율과의 상관성과 설명력이 가장 높은 결과를 보이는 값을 기준치로 설정 하였다. 통행시간은 60, 90, 120, 150, 180분에 대하여 민감도를 분석한 결과 120분 이상 통행한 차량의 비율값과 사고율과의 상관성과 설명력이 가장 높은 것으로 나타났다. 통행거리에 대한 임계치 설정도 통행시간과 동일한 방법을 적용하였으며, 거리는 60, 90, 120, 150, 180km 이상 주행한 차량비율에 대한 민감도를 분석하였다. 민감도 분석결과 150km 이상 주행한 차량의 비율이 사고율과의 상관성과 설명력이 가장 우수한 것으로 분석되었다.

민감도 분석결과 Table 3, 4와 같으며, 통행시간 임계치는 2시간, 통행거리는 150km 이상 주행한 차량의 비율 값으로 운전피로도 지표를 정의하였다.

**Table 3. Sensitivity analysis result(path travel time)**

line	Index	Path travel time(min)				
		≥60	≥90	≥120	≥150	≥180
total	correl	0.57	0.69	<b>0.77</b>	0.74	0.69
	$R^2$	0.33	0.48	<b>0.59</b>	0.54	0.48
kyungbu	correl	0.47	0.65	<b>0.83</b>	0.81	0.74
	$R^2$	0.22	0.42	<b>0.69</b>	0.66	0.55
seohaean	correl	0.69	0.80	<b>0.81</b>	0.73	0.65
	$R^2$	0.48	0.63	<b>0.65</b>	0.54	0.42

**Table 4. Sensitivity analysis result(path travel length)**

line	Index	Path travel length(km)				
		≥60	≥90	≥120	≥150	≥180
total	correl	0.57	0.61	0.69	<b>0.75</b>	0.72
	$R^2$	0.33	0.37	0.47	<b>0.57</b>	0.52
kyungbu	correl	0.51	0.53	0.68	<b>0.81</b>	0.77
	$R^2$	0.26	0.28	0.46	<b>0.66</b>	0.60
seohaean	correl	0.66	0.71	0.76	<b>0.79</b>	0.78
	$R^2$	0.44	0.50	0.57	<b>0.62</b>	0.61

실제 경로통행시간과 통행거리분포는 연속적이지만 본 연구에서는 도로구간별로 1km/h(or 1분) 단위로 이산적 형태로 집계된 자료( $p_i$ )를 이용하여 임계치( $t_c$ )를 초과하는 차량의 비율로 산정하였다. 따라서 운전피로도지표의 산정은 다음과 같다.

$$FDR(t_c) = \frac{\sum_{i=t_c}^{500} p_i}{\sum_{i=1}^{500} p_i} \tag{3}$$

여기서,

- $p_i$  : 집계단위(1km or 1분)별 교통량 대수
- $t_c$  : 임계치(경로통행시간: 120분 이상 비율, 경로통행거리: 150km 이상 비율)

## 개발지표와 교통사고와의 관계

### 1. 분석개요

본 연구에서 운전자요인 사고에 대한 모형의 설명력 개선을 위해, 통행행태기반 지표로 운전피로도(FDR)를 개발하였다. 개발된 지표와 교통사고와의 관계를 검증하기 위하여 고속도로 구간 중 경부고속도로와 서해안고속도로를 대상으로 평가를 수행하고자 한다. 개발지표의 평가를 위하여 도로구간별 사고율과의 관계를 분석하고, 개발지표와 사고율과의 상관정도를 분석하기 위하여 Pearson 상관분석을 수행하였다. 또한, 독립변수(FDR)의 종속변수(사고율)에 대한 영향을 추정하기 위하여 회귀분석을 수행하였다.

### 2. 개발지표와 교통사고와의 관계 분석결과

#### 1) 경부고속도로

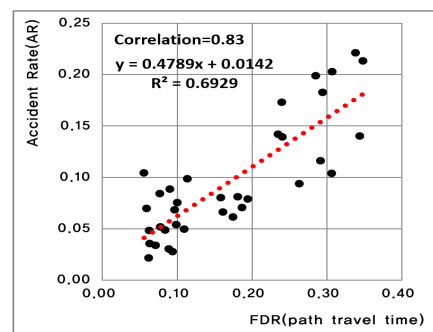
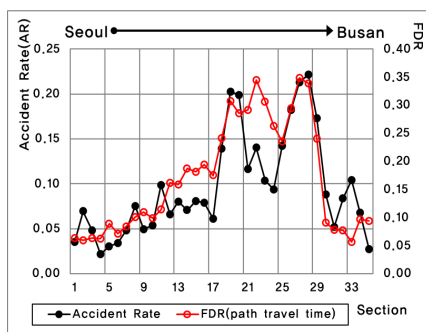
경부고속도로 본선구간에 대하여 링크별 FDR지표와 사고율과의 관계는 Figure 3-6과 같으며, FDR지표 값이 큰 구간은 사고율(AR) 역시 높은 행태를 보이는 것으로 나타났다. FDR지표가 사고율을 얼마나 잘 설명할 수 있는 변수인지를 판단하기 위하여 회귀분석과 Pearson상관관계를 분석을 수행하였다.



**Table 5.** Index calculation results(kyungbu)

Section	Length(km)	AADT	AR	FDR(time)	FDR(length)
1	2.68	108,015	0.04	0.06	0.02
2	5.09	91,731	0.07	0.06	0.02
3	4.39	81,154	0.05	0.06	0.02
4	3.89	88,337	0.02	0.06	0.02
5	13.27	92,629	0.03	0.09	0.05
6	4.83	86,795	0.03	0.07	0.02
7	11.61	79,364	0.05	0.08	0.03
8	8.36	78,433	0.08	0.10	0.03
9	6.7	71,545	0.05	0.11	0.04
10	3.53	43,406	0.05	0.10	0.03
11	24.8	40,378	0.10	0.11	0.05
12	4.62	36,839	0.07	0.16	0.11
13	3.89	65,385	0.08	0.16	0.14
14	3.55	53,492	0.07	0.19	0.18
15	10.07	54,445	0.08	0.18	0.20
16	5.09	48,669	0.08	0.19	0.24
17	5.45	42,161	0.06	0.17	0.22
18	9.89	17,430	0.14	0.24	0.30
19	12.03	17,154	0.20	0.31	0.37
20	7.97	15,608	0.20	0.29	0.36
21	9.12	17,025	0.12	0.29	0.35
22	5.48	72,465	0.14	0.34	0.37
23	7.68	64,491	0.10	0.31	0.33
24	4.09	62,673	0.09	0.26	0.29
25	9.26	36,422	0.14	0.24	0.25
26	16.45	24,176	0.18	0.29	0.32
27	17.73	20,650	0.21	0.35	0.36
28	10.4	20,450	0.22	0.34	0.35
29	28.15	21,076	0.17	0.24	0.22
30	1.63	28,410	0.09	0.09	0.07
31	6.43	29,159	0.05	0.08	0.06
32	14.11	30,915	0.08	0.08	0.06
33	5.08	35,492	0.10	0.06	0.04
34	7.78	30,777	0.07	0.10	0.08
35	2.02	28,064	0.03	0.09	0.08

FDR(경로통행시간)지표는  $R^2 = 0.69$ ,  $r = 0.83$ , FDR(경로통행거리)는  $R^2 = 0.66$ ,  $r = 0.81$ 로 단일변수에 대한 설명력으로는 우수한 것으로 나타났다.



**Figure 3.** Distribution of FDR(path travel time) and AR by road section **Figure 4.** Relationship between FDR(path travel time) and AR

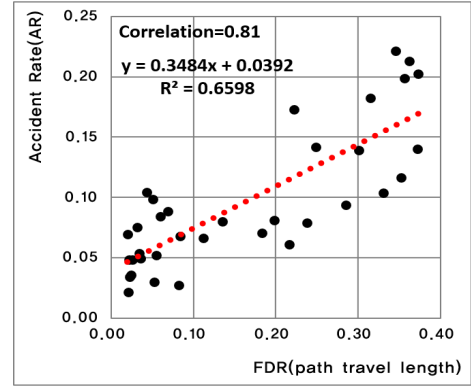
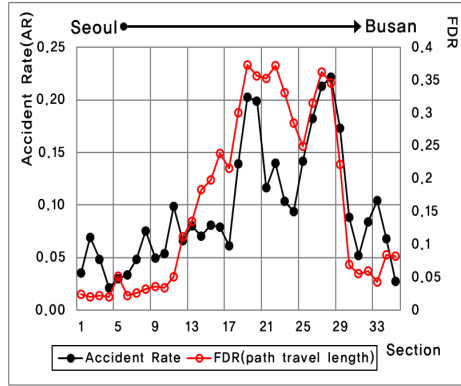


Figure 5. Distribution of FDR(path travel length) and AR by road section Figure 6. Relationship between FDR(path travel length) and AR

## 2) 서해안고속도로

서해안고속도로의 본선구간에 대한 분석결과 링크별 FDR지표와 사고율과의 관계 역시 유사한 행태를 보이는 것으로 나타났다. FDR지표가 사고율과의 회귀분석과 Pearson상관관계 분석결과 FDR(통행시간)지표는  $R^2 = 0.65$ ,  $r = 0.81$ , FDR(통행거리)는  $R^2 = 0.62$ ,  $r = 0.79$ 로 경부고속도로와 유사한 값을 보였다.

Table 6. Index calculation results(seohaean)

Section	Length(km)	AADT	AR	FDR (time)	FDR (length)
1	4.64	49,429	0.02	0.04	0.01
2	2.67	81,028	0.07	0.04	0.01
3	1.15	65,459	0.01	0.04	0.01
4	3.16	87,645	0.07	0.11	0.07
5	4.02	55,227	0.10	0.05	0.02
6	13.62	47,904	0.06	0.05	0.02
7	7.82	43,944	0.09	0.06	0.02
8	6.53	49,921	0.06	0.07	0.03
9	12.64	40,012	0.09	0.08	0.03
10	8.07	33,723	0.10	0.09	0.04
11	9.37	31,113	0.09	0.11	0.06
12	6.58	24,227	0.13	0.14	0.08
13	13.68	16,445	0.10	0.17	0.10
14	10.8	14,468	0.08	0.19	0.16
15	19.72	13,455	0.15	0.27	0.39
16	11.99	12,646	0.08	0.29	0.48
17	8.99	15,413	0.19	0.38	0.52
18	12.55	10,779	0.14	0.49	0.58
19	13.93	10,775	0.18	0.51	0.58
20	16.18	10,131	0.22	0.53	0.60
21	9.87	10,459	0.16	0.53	0.59
22	7.91	11,410	0.13	0.50	0.56
23	4.01	11,219	0.18	0.50	0.55
24	14.79	6,462	0.13	0.56	0.63
25	2.46	15,266	0.10	0.24	0.25

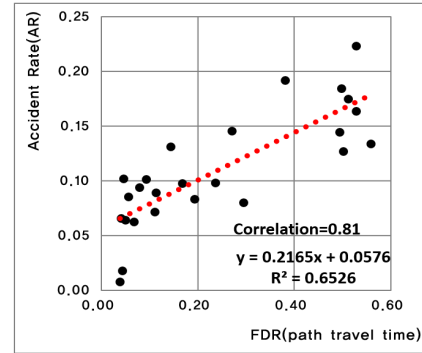
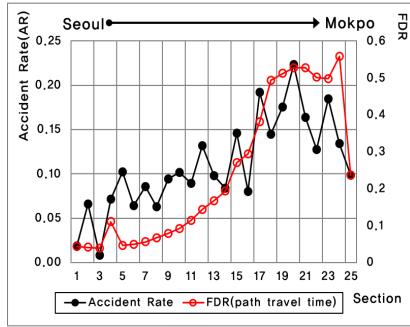


Figure 7. Distribution of FDR(path travel time) and AR by road section    Figure 8. Relationship between FDR(path travel time) and AR

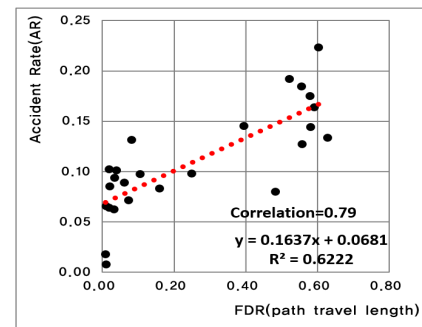
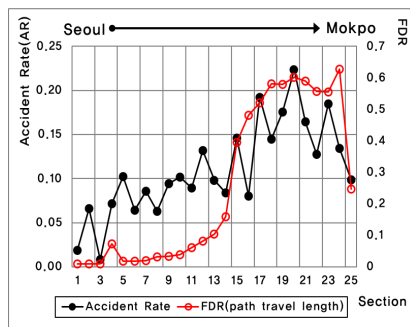


Figure 9. Distribution of FDR(path travel length) and AR by road section    Figure 10. Relationship between FDR(path travel length) and AR

## 결론

고속도로에서 발생한 사고 중 운전자요인으로 인한 사고는 전체사고 중 약 74%인 것으로 나타났으며, 세부요인 별로는 과속, 주시태만, 졸음의 순으로 분석되었다. 하지만 그동안의 대부분의 교통사고와 관련한 연구에서는 도로 구하구조, 교통조건과 같이 외부적인 조건만을 고려하였다. 또한 고속도로는 최상위 등급의 도로로서 양호한 도로 조건을 가지고 있기 때문에 운전자요인에 의한 사고를 설명하는데 한계를 갖고 있다.

본 연구에서는 기존 연구들이 갖는 한계점을 보완하기 위하여 운전자요인을 고려할 수 있는 신규지표를 제안하였고, 교통사고와의 관계를 분석하였다. 그동안 운전자요인에 의한 사고비율이 높음에도 불구하고 도로구간별로 운전자의 심리적 피로도를 고려한 연구는 거의 수행되지 않았다. 운전자요인 사고를 설명하기 위하여 본 연구에서는 도로구간별로 경로통행시간과 통행거리 기반의 운전자피로도(FDR)를 제안하였다. 지표개발을 위해 사용된 자료는 2014년 1년치의 내비게이션 경로자료를 사용하였고, 이를 이용하여 도로구간별로 경로통행시간, 통행거리분포를 구축하였다.

개발지표와 교통사고와의 관계를 검증하기 위하여 경부고속도로, 서해안고속도로를 대상으로 도로구간별 사고율과의 관계를 분석하였다. 분석결과 운전피로도 지표는 사고율과 유사한 행태를 보였고, 상관계수는 평균 0.81로 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 일반적으로 교통사고는 다양한 요인에 의하여 발생하므로, 개별요인들에 대한 사고율과의 설명력은 매우 낮은 수준이다. 하지만, 본 연구에서 제안한 운전피로도 지표는 사고율지표와의 높은 상관성과 설명력을 보이는 것으로 분석되었고, 이는 단일변수로서 강력한 변수임을 입증할 수 있었다. 따라서 기존의 안전진단 시 시설물 위주에서 통행행태기반으로 개선할 필요성이 증가하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 개발된 지표들의 성과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 도로기하구조, 교통량만을 고려한 기존 사고모형에서 고려하지 못하였던 운전자요인의 사고를 운전자피도로 지표를 통해 설명력을 향상시킬 수 있을 것이다. 둘째, 도로 기하구조가 양호함에도 불구하고 사고가 빈번히 발생하는 구간에 대한 설명력을 높일 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발된 지표는 다양한 분야에서 활용이 가능할 것으로 판단되며 세부적인 내용은 다음과 같다. 첫째, 시간대별 동적 분석을 통해 교통사고(졸음, 부주의 운전 등)를 사전에 방지를 위한 정보제공(운영적인 측면) 시 활용이 가능할 것이다. 둘째, 개별운전자들의 생리적 주기를 고려하여 개인 맞춤형 운행정보 제공 시 활용이 가능할 것이다. 셋째, 고속도로 안전진단 핵심 요소기술로서 활용이 가능할 것이다. 넷째, 휴게소 및 졸음쉼터 입지 우선순위 선정 시 활용이 가능할 것이다. 기존의 고속도로 휴게소의 설치기준은 통과교통량 및 휴게시설 상호간의 거리와 여유부지에 의존하였던 것이 일반적이며, 이 또한 휴게소의 수익성에 의해 좌우되어 규정된 적정 간격마저도 잘 지켜지지 않았다. 다섯째, 피로한 구간에 대하여 운전자에게 주의환기를 위한 방법인 노면요철 포장, 그루빙(Grooving) 적용구간 선정 시 활용이 가능할 것이다.

본 연구의 한계로는 첫째, 분석의 대상을 본선구간만을 대상으로 분석을 수행하였다. 램프구간 및 터널, TG 구간은 본선구간과 사고의 행태가 큰 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 이는 사고에 영향을 미치는 요인이 본선구간과 차이를 보이기 때문에 판단된다. 이러한 한계를 보완하기 위해서는 향후에 구간을 구분하여 분석을 수행할 필요가 있다. 둘째, 운전자의 휴게소 이용 여부에 대한 정보를 정확히 포함하지 못하였다. 본 연구에서는 휴게소 이용차량을 제거하기 위하여 내비게이션 자료 수집 시 기점이 고속도로가 아닌 지점의 자료만을 대상으로 하였지만 휴게소 이용차량이 정확히 제거되었는지는 검증할 수 없었다. 셋째, 차종별 통행특성을 정확히 고려하지 못한 한계가 있다. 승용차, 버스, 화물차별로 통행의 특성이 큰 차이를 보이지만 자료수집의 한계로 이를 고려하지 못하였다. 이러한 부분은 향후 DSRC 자료를 활용한다면 차종별 통행특성 분석이 가능할 것이다.

넷째, 운전피로도 지표는 운전지속시간이 상대적으로 긴 지역간 고속도로에는 설명력이 좋을 수 있지만, 도시부 고속도로의 경우에는 설명력이 낮을 것으로 판단된다. 따라서 도시부 고속도로에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

## REFERENCES

- Ali K. C., Erkan O. (2014), A Multinomial Logit Analysis of Risk Factors Influencing Road Traffic Injury Severities in the Erzurum and Kars Provinces of Turkey, *Accid. Anal. Prev.*, 72, 66-77.
- Baek S. G., Chang H. H., Kang J. G., Yoon B. J. (2005), An Effect of Trip Length on Freeway Accident Rates, *Journal of the Eastern Society for Transportation Studies*, 6, 3467-3481.
- Brown I. D. (1994), Driver fatigue, *Human Factors*, 36-2, 298-314.
- Choi Y. H., Oh Y. T., Choi K. C., Lee C. K., Yun I. S. (2012), Traffic Crash Prediction Models for Expressway Ramps, *Int. J. Highw. Eng.*, 4(5), 133-143.
- Hartley L. R. (2004), Fatigue and driving. In Rothengatter, T., Huhuenin, R. D. (Eds.), *Traffic & Transport Psychology: Theory and Application*, UK: Elsevier Ltd.
- Hwang K. S., Choi J. S., Kim S. Y., Heo T. Y., Cho W. B., Kim Y. S. (2010), Freeway Crash Frequency Model Development Based on the Road Section Segmentation by Using Vehicle Speeds, *J. Korean Soc. Transp.*, 28(2), Korean Society of Transportation, 151-159.
- Jeong E. B., Oh C. (2011), Accident Rate Forecasting Model by Using Speed on Freeway, *J. Korean Soc. Transp.*, 29(4), Korean Society of Transportation, 103-111.
- Joaquin A., Griselda L., Juan O. (2013), Analysis of Traffic Accident Severity Using Decision Rules via Decision Trees, *Expert Systems With Applications*, 40, 6047-6054.
- Juan O., Griselda L., Randa M., Francisco J. C. (2013), Analysis of Traffic Accidents on Rural Highways Using Latent

- Class Clustering and Bayesian Networks, *Accid. Anal. Prev.*, 51, 1-10.
- Kim J. H., Lee S. B., Kim D. H., Hong J. Y. (2012), The Relationship Between Violation of Designated Lane Usage and Accident Severity on Freeways, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(3), Korean Society of Transportation, 119-127.
- Kim S. W., Park S. J., Lee Y. S. (2003), Development of Evaluation Method of Driver's Fatigue by Physiological Signal, *The Korean Society of Automotive Engineers*, 1208-1212.
- Lee H. R., Kum K. J., Son S. N. (2011), A Study on the Factor Analysis by Grade for Highway Traffic Accident, *Int. J. Highw. Eng.*, 13(3), 157-165.
- Lee J. S. (2006), The Effects of Fatigue Induced Both by Sleep Deprivation and Time-on-task on Driving Performance, *Korean Journal of Culture and Social Issues*, 12(3), 69-83.
- Lee J. Y., Chung J. H., Son B. S. (2008), Analysis of Traffic Accident Size for Korean Highway Using Structural Equation Models, *Accid. Anal. Prev.*, 40, 1955-1963.
- Lee S. C., Hwang Y. S., Oh J. S. (2008), The Effect of the Workload on the Truck Driver's Fatigue, *Korean Journal of Psychological*, 21(2), 367-381.
- Lin T. D., Jovanis P. P., Yang C. Z. (1994), Time of Day Models of Motor Carrier Accident Risk, *Transportation Research Record 1467*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1-8.
- Martha H., Carlos C., Mario F., Rafael A., Victoria L. (2000), Risk Factors in Highway Traffic Accidents: A Case Control Study, *Accid. Anal. Prev.*, 32, 703-709.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), 2013 Statistical Yearbook of Molit.
- Mun S. R., Lee Y. I. (2011), Analysis of Traffic Crash Severity on Freeway Using Hierarchical Binomial Logistic Model, *Int. J. Highw. Eng.*, 13(4), 199-209.
- Mun S. R., Lee Y. I., Lee S. B. (2012), Developing a Traffic Accident Prediction Model for Freeways, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(2), Korean Society of Transportation, 101-116.
- Park M. H. (2014), A Study on Marginal Effect of Geometric Structure on Freeway Accident Frequencies, *J. Korean Soc. Transp.*, 32(1), Korean Society of Transportation, 73-81.
- Park S. W. (2010), Analysis of Motor Carrier Crash Risk With Driver Hours of Service, *Int. J. Highw. Eng.*, 12(1), 21-27.
- Sung H. M., Cha D. I., Kim S. W., Park J. J., Kim C. J., Yoon Y. R. (2003), The Study of Driving Fatigue Using HRV Analysis, *J. Biomed. Eng. Res.*, 24(1), 1-8.
- Tucker P. (2003), The Impact of Rest Breaks Upon Accident Risk, Fatigue and Performance: A Review, *Work & Stress*, 17(2), 123-137.
- Vatanavongs R., Sonnarong S. (2014), Impacts of Accident Severity Factors and Loss Values of Crashes on Expressway in Thailand, *International Association of Traffic and Safety Sciences*, 37, 130-136.
- Venkataraman S., Fred M., Woodrow B. (1994), Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frequencies, *Accid. Anal. Prev.*, 27(3), 371-389.
- Won M. S., Lee K. R., Oh C., Kang K. W. (2009), A Study on the Application of Accident Severity Prediction Model, *J. Korean Soc. Transp.*, 27(4), Korean Society of Transportation, 167-173.
- Wylie C. D., Shultz T., Miller J. C., Mitler M. M., Mackie R. R. (1996), Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study, Technical Report U.S Department of Transp, Federal Highway Administration Report, FHWA-MC-97-002.
- You I. S., Park S. H., Yoon J. E., Choi J. H., Han E. (2012), Prediction Model for the Severity of Traffic Accidents on Expressway On-and Off-ramp, *Int. J. Highw. Eng.*, 14(5), 101-111.