

# 프로브차량 가속도센서를 이용한 고속도로 교통사고 위험도 평가기법

## Assessment of Freeway Crash Risk using Probe Vehicle Accelerometer

박 재 홍 Park, Jae Hong	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 주저자 (E-mail : jhpark@kict.re.kr)
오 철 Oh, Cheol	정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr)
강 경 표 Kang, Kyeong Pyo	한국교통연구원 도로교통안전연구본부 부연구위원 (E-mail : kpkang@koti.re.kr)

### ABSTRACT

Understanding various casual factors affecting the occurrence of freeway traffic crash is a backbone of deriving effective countermeasures. The first step toward understanding such factors is to identify crash risks on freeways. Unlike existing studies, this study focused on the unsafe vehicle maneuvering that can be detected by in-vehicle sensors. The recent advancement of sensor technologies allows us to gather and analyze detailed microscopic events leading to crash occurrence such as the abrupt change in acceleration. This study used an accelerometer to capture the unsafe events. A set of candidate variables representing unsafe events were derived from analyzing acceleration data obtained by the accelerometer. Then, the crash risk was modeled by the binary logistic regression technique. The probabilistic outcome of crash risk can be provided by the proposed model. An application of the methodology assessing crash risk was presented, and further research items for the successful field implementation were also discussed.

### KEYWORDS

traffic safety, accelerometer, probe vehicle, crash risk, binary logistic regression

### 요지

교통사고 원인분석 및 사고예방을 위해서는 교통사고 유발요인에 대한 이해가 필요하다. 기존 연구에서는 기하구조, 운전자 특성 등의 요인을 고려하여 연구를 진행하였다. 그러나, 운전자 특성요인 분석에 사용된 자료는 검지기에서 측정된 집계된 속도로서, 속도 변화량을 이용한 사고분석연구에는 한계가 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 차량의 속도변화 등의 수집이 용이한 센서를 이용하여 자료를 수집하였다. 가속도자료 및 기하구조 특성을 나타내는 변수를 설정하고, 사고자료와 매칭을 통해 사고개연성이 높은 잠재적 변수로의 적합성을 평가하였다. T-test, 이항 로지스틱 회귀분석을 사용했으며, T-test 결과로써 도출된 변수를 이항 로지스틱 회귀분석의 독립변수에 적용하고, 사고발생 유·무를 종속변수로 설정하였다. 분석결과, 5개의 변수가 사고발생에 영향을 주는 변수로 도출되었다. 또한, 도출된 모형은 사고발생구간의 예측에 적용할 수 있는 타당성을 확보하는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 도출된 위험 운전행태 변수 및 모형은 프로브차량에 설치하여 활용할 수 있는 장치 등에 적용시켜 사고위험도 및 안전성 평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 핵심용어

교통안전, 가속도센서, 프로브차량, 사고 위험도, 이항 로지스틱 회귀분석

## 1. 서론

교통사고는 인적요인, 도로환경요인, 기상환경요인, 교통환경요인, 차량요인들의 결합과 관련되어 발생한다. 따라서,

교통사고를 예방하기 위해서는 교통사고 유발요인을 도출하거나, 각각의 요인들을 종합적으로 고려한 연구가 필요하다. 기존 연구는 주로 기하구조, 운전자 특성 등의 요인을 고려

하여 교통사고발생과 관련된 연구를 진행하였다. 기하구조 특성은 설계도면 등을 이용하고, 운전자 특성은 운전자의 주행행태를 나타내는 대표적인 변수인 속도 및 속도 변화량을 검지기에서 수집하여 이용하였다. 그러나, 검지기에서 수집된 자료는 특정지점의 속도이며, 일정한간격으로 집계되었으므로 개별차량의 속도 변화량을 이용한 사고발생 관련연구에는 한계가 존재한다.

주행차량의 속도, 가속도 변화량은 루프검지기 등의 도로기반시설(Infra)을 이용하거나 차내(In-vehicle)에 센서를 장착하여 수집할 수 있다. 특히, 최근에는 센서기술의 발달로 개별차량의 속도, 가속도, 각속도 등의 정확한 측정과 차량의 위치 변화에 따른 속도변화 등을 비교적 용이하게 수집하도록 발전되었다. 차내에 설치한 센서에서 측정된 속도, 가속도에는 운전자의 주행패턴, 도로의 기하구조 특성, 교통류 등이 반영되어 나타난다. 또한, 센서가 측정한 속도, 가속도를 이용하여 교통사고와의 관계를 분석하는 것은 운전자의 주행패턴, 기하구조, 교통류 등이 반영되므로 교통사고 유발요인을 종합적으로 고려할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 센서를 장착한 프로브차량을 이용하여 자료를 수집하였으며, 수집된 자료의 분석을 통해 운전자의 위험운전행태를 나타내는 변수 및 모형을 도출하는 연구를 실시하였다.

서해안 고속도로를 대상노선으로 선정하고, 분석구간의 기본이 되는 분석단위 구간을 1km로 설정하였다. 운전자의 위험운전행태를 나타내는 변수 및 모형을 도출하기 위해 GPS(Global Positioning System)수신기와 가속도센서(Accelerometer)를 사용하였다. 가속도센서를 통해 측정된 가속도자료를 분석단위구간의 대표성을 나타내는 변수 그룹과 가속도의 변화량을 나타내는 변수 그룹으로 구분하고, 위험운전행태를 나타내는 잠재적 변수로 설정하였다. 또한, 종단선형 유·무, 평면선형 유·무, RAMP 유·무를 기하구조 특성이 반영된 잠재적 변수로 설정하였다. 잠재적 변수의 적합성을 평가하기 위해 대상노선의 사고자료와 매칭하고, T-test와 이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistic Regression)을 적용하여 분석하였다.

본 연구의 2장에서는 국내·외의 기존문헌을 고찰했으며, 3장에서는 자료수집 및 잠재적 변수의 설정방법을 제시하였다. 4장에서는 분석방법 및 결과를 제시하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 제시하였다.

## 2. 관련연구 고찰

센서를 이용하여 수집된 자료를 운전자의 위험운전행태를 나타내는 변수로 도출하기 위하여, 본 연구와 관련된 국내·외의 기존연구를 제시하였다.

### 2.1. 속도변화와 사고위험의 관계연구

이점호 등(2000)은 지방부 2차로도로의 곡선부를 주행하는 차량의 속도와 해당 도로구간의 교통사고자료를 비교·분석하여 평면곡선 내의 속도변화와 교통사고발생 간의 관계를 규명하였다. 분석결과, 곡선부에서의 속도변화폭이 클수록 사고위험성은 크고, 실제 교통사고 발생건수가 높다는 결론을 제시하였다. 박영진 등(2002)은 지방부 2차로 도로 곡선부에서 발생한 사고자료와 최대 속도변화의 관계를 분석하였다. 분석결과, 곡선부에서 발생하는 전체사고의 약 40% 이상을 '최대 속도차' 기준으로 설명하였으며, 최대 속도차이가 클수록 사고율이 높다는 결론을 제시하였다. 하태준, 이석(2002)은 속도분산차, 차량 진행방향 가속도차, 곡선반경방향 가속도차를 이용하여 새로운 안전성 평가방법을 제안하였다. 기존의 안전성 평가방법과 비교하여, 제안된 방법이 적절하다는 결론을 제시했으며, 선행차량에 의해 속도 영향을 받는 차두간격을 6초 이하로 제시하였다. 하태준 등(2003)은 3차원 도로상에서의 각 지점의 가속도를 제시하고 안전성(일관성) 평가 방법을 제시하였다. 가속도는 3차원의 변위를 각각 계산하여 변위에 대한 벡터의 합으로 정의하였으며, 속도 프로파일을 통해 산출하였다. 분석결과, 속도차 방법을 사용하는 것보다 거리에 따른 속도변화를 표현하는 가속도 방법이 안전성(일관성)을 평가하는데 정확한 것으로 제시하였다.

Garber and Gadiraju(1989)는 도로유형별 속도편차와 사고율의 관계를 나타내기 위해 주간선도로, 고속도로, 집산도로에서 수집된 지점속도와 교통량, 사고자료를 이용하였다. 분석결과 속도편차가 증가함에 따라 사고율이 증가하며, 제한속도가 설계속도보다 5~10mph정도 낮을 경우 속도편차가 작아 사고율이 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 5~10mph 이상에서는 제한속도와 설계속도 차이가 커질수록 편차가 커진다고 제시하였다. Kloden et al.(1997)은 Case-Control Method를 이용하여 개별차량의 속도와 사고와의 관계를 평가하였다. 제한속도가 60km/h인 도시부 도로에서 151개의 case와 604개의 control을 이용하였으며, 차량의 진행방향, 구간, 시간, 기후, 조명, 차종을 대응변수로 설정하여 분석하였다. 분석결과, 개별차량의 속도와 개별차량과 평균속도의 차이가 독립변수로 사용되고 부상심각도 비율이 종속변수로 사용된 지수함수식을 도출하였다. Maycock et al.(1998)은 속도증가에 따른 사고증가율에 관한 연구를 수행하였다. 43개의 도로를 대상으로 6,435대 차량의 속도를 스피드 건을 이용하여 측정하였으며, 전체 속도를 5개로 분류하였다. 각 구간에 속한 운전자의 사고이력조사를 통해 평균속도와 운전자의 개별속도를 이용한 사고위험 발생식을 도출하였다. 특히, 제시한 모형은 속도가 1%증가하는 경우 사고발생비율이 13.1% 증가한다고 제시하였다.

Quimby et al.(1999)는 속도증가에 따른 사고증가율에 관한 연구를 수행하였다. 24개 도로에서 측정된 4,058대 차량의 속도를 5개로 구분하여 분석하였다. 평균속도와 운전자의 개별속도를 이용한 사고위험 발생식을 도출했으며, 제시된 모형에서는 속도가 1% 증가하는 경우 사고발생비율은 7.8% 증가한다고 제시하였다. Taylor et al.(2000)는 속도 분산은 사고비율과 관련되었다고 제시하였다. 도로유형을 도시 내 혼잡도로, 시내도로, 교외도로, 외곽고속도로로 구분하고, 도로유형에 상관없이 평균속도가 커질수록 사고빈도가 증가한다는 결과를 제시하였다. 또한, 혼잡도로에서 사고빈도수와 사고증가율이 높게 나타났으며, 표준편차와 평균속도를 고려한 사고빈도 산출 모형을 지수함수로 제시하였다.

## 2.2. 센서를 이용한 사고위험의 관계연구

Wahlberg(2004)는 버스 운전자와 사고와의 관련성을 분석하기 위해 버스 운전자를 대상으로 운전자 가속 행태를 측정하였다. 차내(버스)에 가속도를 측정하는 'g-analyst'를 설치하였으며, 차량의 움직임을 나타내는 변수로 설정하고 사고와의 관계를 상관계수 결과로써 분석하였다. 분석결과 버스 운전자를 대상으로 가속 행태를 측정하여 도출한 변수와 버스 운전자의 사고이력을 통해 산출된 상관계수는 연구기간 내에서 신뢰성이 있는 것으로 제시하였다. Cafiso et al.(2005)는 기하구조 선형에 관한 문제가 운전자의 부적절한 속도패턴 및 운전행태로써 나타난다고 제시하였다. 따라서, 지방부 2차선 도로를 주행하는 운전자의 운전행태를 GPS수신기, 가속도계 등이 장착된 수집장치를 이용해 측정하고, 설계 일관성 평가 척도 및 추정을 위한 모형개발에 관한 연구를 진행하였다. Gabauer and Gabler(2005)은 사고발생전과 사고발생동안의 차량속도와 브레이크상태 등을 기록하는 전자장치인 EDR(Event Data Recorder)을 이용하여 ASI(Acceleration Severity Index)임계값과 사고발생 시 심각도의 관계를 연구하였다. 분석결과로써, Longitudinal ASI는 부상정도의 예측 변수로써 적합하다는 연구결과와 유효한 임계값을 제시하였다. Cafiso and Cava(2009)는 운전자 차량 수집시스템을 이용하여 선형의 일관성을 평가했으며, DIVAS 이용한 실제 주행을 통해 자료를 수집하였다. 선형 일관성 평가에 고려된 7개의 변수 중에서, 사고이력자료와 통계적으로 유의하며, 변수간의 상관관계가 없는 두 지점의 최대 속도의 차이, 구간의 평균속도와 한 지점의 최소 속도를 주행평가지표(DPIs)로 설정하였다. 또한, 주행평가지표 분석을 통해, 기존의 선형일관성 평가에서 제시한 임계값보다 낮은 임계값을 제시하였다. Ko et al.(2010)은 가속도의 표준편차로써 정의된 가속소음을 이용하여 교통류 상태를 평가하는 연구를 실시하였다. 또한, 가속소음을 교통류내에서 차량/운전자-도로-교통의 상

호작용을 반영할 수 있는 것으로 고려하였으며, 잠재적인 교통류 지표로써 설정하였다. 4개 고속도로에 GPS를 장착하여 측정된 가속소음을 운전자/차량 특성과의 효과를 분석하였다. 분석결과, 가속소음은 차량과 운전자 특성, 교통류 상태(LOS)에 영향을 받는 것으로 제시하였다.

## 2.3. 기존연구와의 차별성

기존연구에서는 속도변화량 등을 교통사고와 연관하여 사고발생에 미치는 영향을 분석하고, 운전자 주행특성, 기하구조 등의 영향은 센서 측정 값에 반영된 것으로 제시하였다. 따라서, 본 연구에서는 차량움직임에 대한 3축 가속도의 변화를 가속도센서를 이용하여 측정함으로써 운전자 행태를 명확히 반영하였다. 또한, 센서에서 측정된 가속도(단위시간당 속도 변화량)와 기하구조를 반영하여 교통사고와의 연계성을 분석한 점에서 기존연구와 차별성을 부여하였다.

## 3. 분석개요

### 3.1. 자료수집 및 자료수집 장치

본 연구에서는 서해안고속도로의 발안IC~군산IC(Sta.299+300~Sta.145+800)를 분석대상구간으로 선정하였다. 분석대상구간은 양방향 4차로~6차로이며, 2009년의 평균 AADT(Annual Average Daily Traffic)는 37,304대, 제한속도는 110km/h로 나타난다. 고속도로 운전경험이 있는 20대 후반의 2명의 피실험자가 GPS 수신기와 가속도센서를 장착한 2대의 프로브차량을 이용하여, 대상노선을 각각 2회 주행하여 가속도 자료를 수집하였다. 또한, 정체가 없는 교통상황을 반영하기 위해 주간의 Peak-off(9시~17시) 시간을 조사시간대로 선정하였다.

오차범위가 10~100m인 GPS 수신기(1Hz)와 가속도센서(10Hz)를 사용하여 속도, 가속도 자료를 수집하였다. 가속도센서는 3개의 축(X축, Y축, Z축)으로 구분되어 수집되며, 주행차량의 진행방향, 진행방향의 횡방향, 진행방향의 수직방향 가속도를 나타낸다. 또한, 가속도는 방향성을 가진 벡터 값으로써, X축의 가속도가 음(-)인 경우는 진행방향의 역

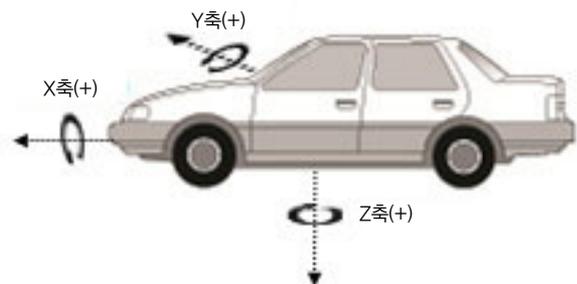


그림 1. 가속도 센서의 축(X축, Y축, Z축) 방향

방향, Y축의 가속도가 음(-)인 경우는 좌측방향, Z축의 가속도가 음(-)인 경우는 상측(上) 방향을 나타낸다. 그림 1에는 가속도 센서의 축 방향을 제시하였다.

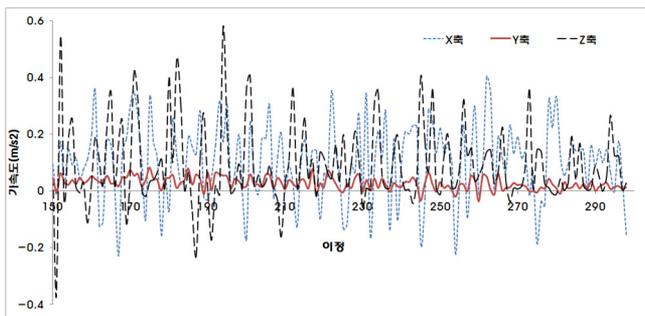
차내에 설치되는 가속도센서는 검지기 설치위치에 제약없이 가속도 변화량을 수집하므로, 사고위험도 및 안전성 평가에 효과적으로 활용될 수 있다. 특히, 기존의 연구가 주로 속도 및 속도 변화량을 이용하여 분석한 부분에 착안하여, 본 연구에서는 가속도 및 가속도의 변화량을 분석하였다. 가속도는 속도벡터가 단위시간 동안의 변화량을 나타내는 벡터량이다. 따라서, 가속도 및 가속도 변화량은 운전자의 속도변화행태를 분석하는 하나의 방법으로써 의미를 가진다.

### 3.2. 분석절차

위험운전행태를 나타내는 변수 및 모형을 도출하기 위하여 가속도센서가 장착된 프로브차량을 이용하여 가속도 자료를 수집하였다. 또한, 분석단위구간별 종단선형 유·무, 평면선형 유·무, RAMP 유·무를 기하구조 특성이 반영된 잠재적 변수로 설정하였다. 자료수집과정에서 발생하는 결측치, 이상치를 제거하기 위해 전체 수집된 가속도자료에서 3% 이하,



(a) 가속도센서를 이용한 자료수집화면



(b) 이정별 가속도 변화(군산 방향)

그림 2. 가속도센서를 이용한 자료수집화면 및 이정별 가속도변화

표 1. 분석단위구간별 자료 수(개/km)

	평균	최대	최소
군산방향	1,328	2,002	1,041
서울방향	949	1,890	607

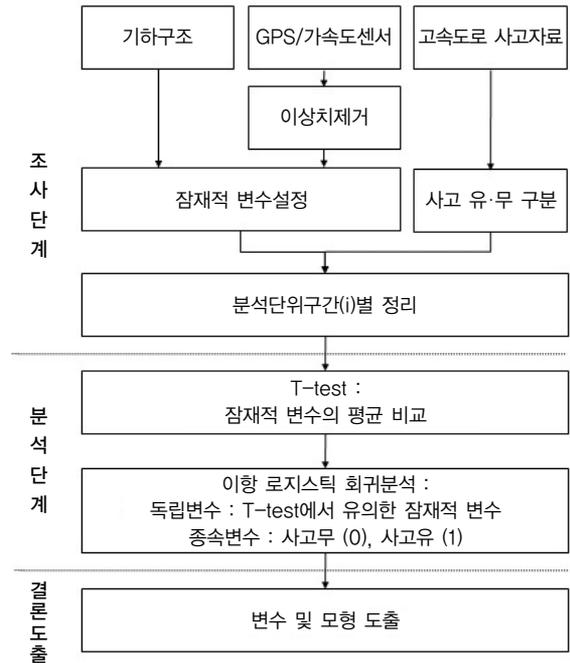


그림 3. 연구 흐름도

97% 이상의 가속도자료는 분석에서 제외하였다.

GPS 수신기에서 측정된 위도-경도를 Map-Matching 작업을 통해 이정으로 변환하고, 각 위도-경도의 3축 가속도를 변환된 이정에 적용하였다. 가속도센서를 이용한 자료수집화면 및 이정별 가속도 변화를 그림 2에 제시하였다. 표 1에는 분석단위구간(1km)별 수집된 3축 가속도의 평균 자료 수를 제시하였으며, 연구 흐름도를 그림 3에 제시하였다.

### 3.3. 변수설정

GPS 수신기와 가속도센서가 장착된 프로브차량에서 수집한 가속도자료 및 기하구조 특성을 나타내는 잠재적변수의 기술통계량을 표 2에 제시하였다. 분석단위구간(i)은 1km로 설정했으며, 잠재적 변수에 대한 값을 분석단위구간별로 산출하여, 산출된 값을 분석단위구간의 대표 값으로 설정하였다.

본 연구에서 설정한 잠재적 변수는 분석단위구간의 대표성을 나타내는 변수그룹과 가속도의 변화량을 나타내는 변수그룹으로 구분된다. 분석단위구간의 대표성을 나타내는 그룹은 평균가속도와 85th percentile 가속도로써, 분석단위구간의 대표값 및 경험적 기준치의 최대값을 의미한다. 가속도의 변화량을 나타내는 그룹은 가속도의 표준편차, 최대값과 최소값

의 차, 최대값과 평균의 차, 변동계수(CV : Coefficient of Variation)로 설정하였다. 단, 가속도는 방향성을 가지고 있는 벡터량이므로, 측정되는 가속도의 방향성을 반영하는 경우 문제(2m/s<sup>2</sup>, -2m/s<sup>2</sup>의 평균은 0)가 발생할 수 있다. 따라서, 방향성을 제거하기 위해 가속도의 평균, 85th percentile, 변동계수는 절대값으로 분석하였다.

$AX_i^{Avg}, AY_i^{Avg}, AZ_i^{Avg}$ 는 분석단위구간(i)의 X축, Y축, Z축의 평균가속도를 의미하며,  $AX_i^{85th}, AY_i^{85th}, AZ_i^{85th}$ 는 85th percentile 가속도를 나타낸다.  $AX_i^{SD}, AY_i^{SD}, AZ_i^{SD}$ 는 가속도의 표준편차,  $AX_i^{MM}, AY_i^{MM}, AZ_i^{MM}$ 는 분석단위구간(i)의 X축, Y축, Z축 가속도 중에서 최대값과 최소값의 차를 의미한다.  $AX_i^{MA}, AY_i^{MA}, AZ_i^{MA}$ 는 분석단위구간(i)에서 최대값과 평균의 차를 의미하며,  $AX_i^{CV}, AY_i^{CV}, AZ_i^{CV}$ 는 변동계수를 의미한다. 기하구조 특성을 나타내는 변수는  $HA_i, VA_i, RAMP_i$ 이며, 각각 평면선형, 종단선형, RAMP유·무를 의미한다. 또한, 본 연구에서는 서해안 고속도로에서 발생한 3년간의 사고자료를 분석단위구간(1km)을 기준으로 사고발생 유(1)·무(0)로 구분하였다.

표 2. 위험운전 이벤트와 관련된 잠재적 변수

변수	평균	SD	MAX	MIN	설 명
$AX_i^{Avg}$	0.31	0.06	0.53	0.15	분석단위구간 i에서 프로브차량의 평균가속도 (X축, Y축, Z축)
$AY_i^{Avg}$	0.22	0.10	0.86	0.11	
$AZ_i^{Avg}$	0.25	0.06	0.49	0.15	
$AX_i^{85th}$	0.50	0.07	0.79	0.29	분석단위구간 i에서 프로브차량의 85th percentile 가속도 (X축, Y축, Z축)
$AY_i^{85th}$	0.38	0.15	1.25	1.89	
$AZ_i^{85th}$	0.44	0.10	0.90	0.27	
$AX_i^{SD}$	0.35	0.08	0.75	0.20	분석단위구간 i에서 프로브차량 가속도의 표준편차 (X축, Y축, Z축)
$AY_i^{SD}$	0.23	0.05	0.51	0.13	
$AZ_i^{SD}$	0.37	0.10	0.72	0.19	
$AX_i^{MM}$	2.25	0.71	5.48	1.19	분석단위구간 i에서 프로브차량 가속도의 최대값(X축, Y축, Z축)과 최소값(X축, Y축, Z축)의 차
$AY_i^{MM}$	1.84	0.52	3.55	0.92	
$AZ_i^{MM}$	4.45	1.75	13.29	1.52	
$AX_i^{MA}$	0.84	0.21	1.80	0.47	분석단위구간 i에서 프로브차량 가속도의 최대값(X축, Y축, Z축)과 평균가속도(X축, Y축, Z축)의 차
$AY_i^{MA}$	0.84	0.30	2.15	0.23	
$AZ_i^{MA}$	2.02	1.09	9.53	0.65	
$AX_i^{CV}$	0.69	0.16	1.41	0.41	분석단위구간 i에서의 프로브차량 가속도의 변동계수 (X축, Y축, Z축)
$AY_i^{CV}$	0.80	0.12	1.18	0.39	
$AZ_i^{CV}$	1.06	0.15	1.61	0.79	
$HA_i, VA_i, RAMP_i$	-	-	-	-	분석단위구간 i에서의 평면선형/종 단선형/RAMP 구간 존재 유 무

i : 분석단위구간(km), HA : Horizontal Alignment, VA : Vertical Alignment

## 4. 분석방법 및 분석결과

### 4.1. 분석방법

#### 4.1.1. T-test

T-test는 두 집단이 정규분포를 이루고 분산이 동일하다는 가정에서, 두 모집단의 평균 차이를 통계적으로 검정하는 분석방법이다. 일반적으로 독립변수의 개수가 적을수록 모형의 이식성이 높게 나타나므로, 21개 잠재적 변수 중에서 평균의 차이가 존재하는 변수를 유의 수준 0.05 이하에서 도출하였다. 또한, 귀무가설(H0)은 '사고발생구간과 사고미발생구간의 평균의 차이가 존재하지 않는다', 대립가설(H1)은 '사고발생구간과 사고미발생구간의 평균이 차이가 존재한다'로 설정하였다.

#### 4.1.2. 이항 로지스틱 회귀분석

종속변수가 범주형인 자료를 분석하는데 적합하며, 확률에 대한 로지스틱 변환을 고려하는 이항 로지스틱 회귀분석을 분석방법으로 사용하였다. 서해안 고속도로의 사고발생여부를 사고무(0), 사고유(1)로 설정하고 종속변수, T-test를 통해 도출된 변수를 독립변수로 사용하였다. Wald 통계량(진진단계)을 사용했으며, 종속변수에 영향을 미치는 독립변수를 유의수준 0.05 이하에서 도출하고 식(1)에 일반적인 모형식을 제시하였다.

$$P(Y_i = 1 | X_i) = \frac{\exp[f(X_i, \beta)]}{1 + \exp[f(X_i, \beta)]} \quad (1)$$

여기서,

$Y_i$  : 잠재적 변수에 대하여 사고가 발생할 확률

$X_i$  : 사고가 발생할 확률에 영향을 미치는 잠재적 변수

$f(X_i, \beta)$  :  $X_i$ 와  $\beta$ 로 구성된 함수

## 4.2. 분석결과

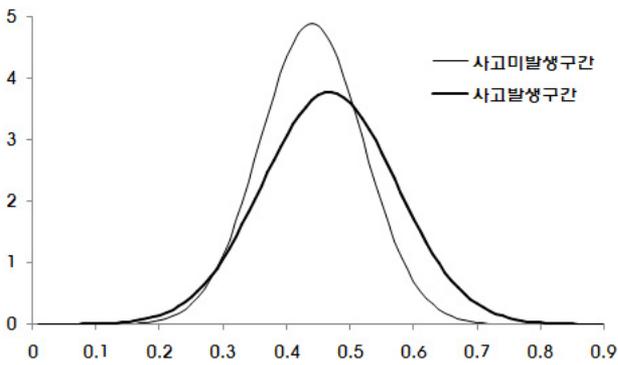
### 4.2.1. T-test 결과

T-test를 이용한 분석결과를 표 3에 제시하였으며,  $AX_i^{SD}$  (0.03),  $AX_i^{MM}$  (0.04),  $AY_i^{SD}$  (0.02),  $AY_i^{CV}$  (0.03),  $AZ_i^{85th}$  (0.03),  $RAMP_i$  (0.01)가 사고발생/미발생 구간에 대한 평균의 차이가 있는 변수로 도출되었다. 6개의 잠재적 변수 중에서,  $AX_i^{MM}$ ,  $AZ_i^{85th}$ 의 사고발생구간과 사고미발생구간에 대한 분포도를 그림 4에 제시하였다.

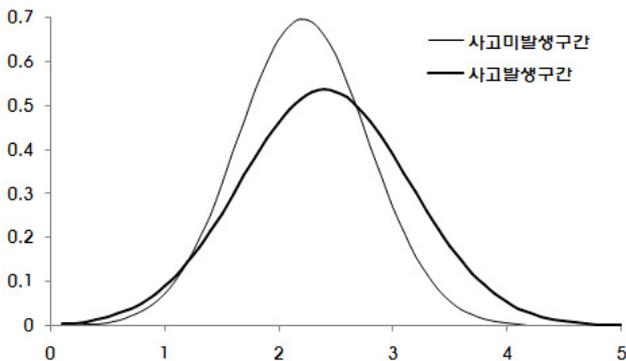
$AX_i^{MM}$ ,  $AZ_i^{85th}$ 의 사고발생구간의 분포가 사고미발생구간의 분포보다 넓게 나타나므로, 가속도의 분산(변화량)이 사고발생구간에서 크다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서, 속도의 변화량이 크면 사고발생 가능성이 높다는 기존의 연구결과는 가속도의 변화량에서도 동일한 결론이 도출된다는 가능성을 제시한다.

표 3. T-test 결과

	사고 유	사고 무	T-statistic	유의 확률		사고 유	사고 무	T-statistic	유의 확률
$AX_i^{Avg}$	0.31	0.31	-1.24	0.22	$AY_i^{CV}$	0.81	0.84	2.23	0.03
$AX_i^{85th}$	0.51	0.49	-1.69	0.10	$AZ_i^{Avg}$	0.27	0.26	-1.75	0.08
$AX_i^{SD}$	0.37	0.35	-2.17	0.03	$AZ_i^{85th}$	0.47	0.44	-2.18	0.03
$AX_i^{MM}$	2.41	2.21	-2.12	0.04	$AZ_i^{SD}$	0.40	0.38	-1.36	0.18
$AX_i^{MA}$	0.88	0.85	-1.56	0.12	$AZ_i^{MM}$	4.78	4.69	-0.40	0.70
$AX_i^{CV}$	0.72	0.69	-1.39	0.17	$AZ_i^{MA}$	2.21	2.13	-0.55	0.59
$AY_i^{Avg}$	0.21	0.22	0.92	0.36	$AZ_i^{CV}$	1.08	1.08	0.31	0.76
$AY_i^{85th}$	0.37	0.39	1.32	0.19	$HA_i$	0.41	0.52	1.71	0.09
$AY_i^{SD}$	0.23	0.25	2.42	0.02	$VA_i$	0.73	0.72	-0.12	0.91
$AY_i^{MM}$	1.93	1.96	0.41	0.68	$RAMP_i$	0.13	0.03	-2.69	0.01
$AY_i^{MA}$	0.88	0.92	1.00	0.32	-	-	-	-	-



(a)  $AX_i^{MM}$  (X축 가속도의 최대값과 최소값의 차)



(b)  $AZ_i^{85th}$  (Z축의 85th percentile 가속도)

그림 4. 잠재적 변수의 분포 비교(정규분포)

#### 4.2.2. 이항 로지스틱 회귀분석 결과

T-test를 통해 도출된 6개 변수를 독립변수로 설정하고, 사고 발생 유(1)·무(0)를 종속변수로 사용하였다. 이항 로지스틱 회귀분석 결과, 5개의 변수( $AX_i^{SD}$ ,  $AY_i^{SD}$ ,  $AY_i^{CV}$ ,  $AZ_i^{85th}$ ,  $RAMP_i$ )가 사고발생에 영향을 미치는 독립변수로 도출되었으며, 표 4에 제시하였다. 표 4에 제시된 'B'는 도출된 각 변수의 계수를 의

미하며, 'Wald'는  $(B/S.E)^2$  값으로 독립변수의 유의성검증을 위한 통계량을 의미한다.

표 4. 이항 로지스틱 회귀분석 결과

	B	S.E.	Wald	자유도	P-value	Exp(B)
$AX_i^{SD}$	4.831	1.841	6.888	1	0.009	125.342
$AY_i^{SD}$	-10.435	2.966	12.376	1	0.000	0.000
$AY_i^{CV}$	-3.666	1.310	7.828	1	0.005	0.026
$AZ_i^{85th}$	6.732	1.785	14.215	1	0.000	838.413
$RAMP_i$	1.241	0.657	3.572	1	0.059	3.460
상수	0.898	1.397	0.413	1	0.520	2.454

$AX_i^{SD}$ 는 진행방향 가속도의 표준편차(가속소음),  $AY_i^{SD}$ 는 횡방향가속도의 표준편차,  $AY_i^{CV}$ 는 횡방향가속도의 변동계수,  $AZ_i^{85th}$ 는 수직방향 가속도의 85th percentile 가속도,  $RAMP_i$ 는 램프구간 존재를 의미한다.  $AX_i^{SD}$ (가속소음)은 차량의 흐름이나 교통제어 등의 영향으로 발생하며, 운전자, 도로, 교통상태에 영향을 미치는 요소로 정의하였다(Traffic flow theory, 1997). 또한, 가속소음이 높을수록 잠재적인 위험성이 높게 나타나며(Jones and Potts, 1962), 불안정한 교통상황(돌발상황, 상충 등)을 운전자가 회피하는 행동에서 발생할 가능성이 높다고 제시하였다(Ko et al., 2010). 따라서,  $AX_i^{SD}$ 는 운전자의 위험운전행태를 나타내는 변수로써 의미가 있다. 진동운동과 같은 차량의 상·하 운동을 통해 나타나는  $AZ_i^{85th}$ 는 중단경사가 심한 구간, 노면상태 불량 구간등에서 크게 나타나므로, 사고발생가능성과 관련된 변수로써 의미를 가진다. 또한, 램프존재구간은 본선과의 진출입으로 인하여 엇갈림(weaving)에 의한 상충이 발생하므로  $RAMP_i$ 는 사고발생가능성이 높은 변수로써 판단이 가능하다. 그러나, 급차로 변경, 사행운전(줄임운전, 음주운전)등의 위험성을 나타내는 Y축 가속도는 본 연구에서 실험되지 않았으므로, 본 연구에서는 Y축 가속도에 대한 영향이 거의 나타나지 않은 것으로 해석이 가능하다.

표 4에 도출된 결과를 이용하여 도출된 이항 로지스틱 회귀분석 모형을 식(2)에 제시하였다. 도출된 모형의 모형계수 검정결과는 표 5에 제시했으며, 모형 요약 값을 표 6에 제시하였다. 모형계수 검정의 유의확률(0.00)과 Nagelkerke R-square(0.195)을 통해 도출된 모형은 유용하다고 분석할 수 있다. 또한, 분류정확도가 사고미발생구간 55.0%, 사고발생구간 79.3%, 전체 분류정확도는 69.0%로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 제시한 이항 로지스틱 회귀모형은 수용할 수 있는 수준이며, 사고발생구간 등의 예측에 적용할 수 있는 타당성을 확보하였다.

$$Y = \frac{\exp(0.898 + 4.831X_{AX_i^{SD}} - 10.345X_{AY_i^{SD}} - 3.666X_{AY_i^{CV}} + 6.732X_{AZ_i^{85th}} + 1.241X_{RAMP_i})}{1 + \exp(0.898 + 4.831X_{AX_i^{SD}} - 10.345X_{AY_i^{SD}} - 3.666X_{AY_i^{CV}} + 6.732X_{AZ_i^{85th}} + 1.241X_{RAMP_i})} \quad (2)$$

여기서,

- Y : 잠재적 변수에 의한 사고발생 가능성
- $X_{AX_i^{SD}}$  : 진행방향가속도의 표준편차
- $X_{AY_i^{CV}}$  : 횡방향가속도의 변동계수
- $X_{RAMP_i}$  : RAMP구간 존재 유·무
- $X_{AY_i^{SD}}$  : 횡방향가속도의 표준편차
- $X_{AZ_i^{85th}}$  : 수직가속도의 85th percentile

표 5. 모형계수 전체 검정

구 분	카이제곱	자유도	유의확률
단계	7.655	1	0.006
블록	40.974	5	0.000
모형	40.974	5	0.000

표 6. 모형 요약

-2 Log Likelihood	Cox and Snell R-square	Nagelkerke R-square
315.000	0.145	0.195

그림 5에는 본 연구에서 도출된 변수 및 모형을 적용하여 사고위험도 평가 사례를 제시하였다. 사고위험도의 임계값을 0.8로 설정하고, 고속도로 신설노선 등에 프로브차량을 주행시켜 수집한 가속도의  $AX_i^{SD}$ ,  $AY_i^{SD}$ ,  $AY_i^{CV}$ ,  $AZ_i^{85th}$ ,  $RAMP_i$  값을 모형에 적용하는 경우, 임계값 이상의 사고위험도가 나타나는 구간은 9개로 나타난다. 따라서, 사고위험도가 높다고 판단된 9개 구간의 사고예방 대응책(countermeasure) 개발을 통해 교통사고를 예방할 수 있다.

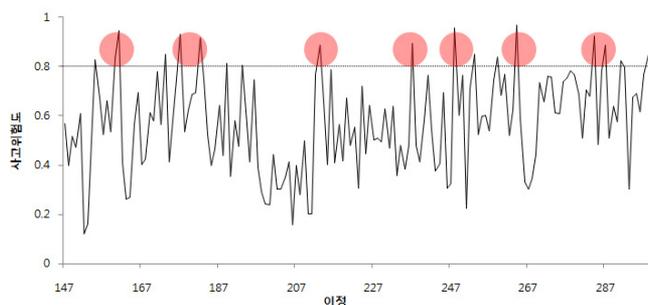


그림 5. 사고위험도 평가 사례 (임계값 : 0.8)

## 5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 가속도 및 기하구조를 이용하여 교통사고 발생과 관련성이 높은 변수 및 모형을 도출하였다. GPS 수신기와 가속도센서가 부착된 프로브차량을 이용하여 수집된 가속도를 위험운전행태를 나타내는 잠재적 변수로 설정하였다. 또한, 종단선형 유·무, 평면선형 유·무, RAMP 유·무를 기하구조 특성이 반영된 잠재적 변수로 설정하였다. 잠재적 변수의 적합성을 평가하기 위해 대상노선의 사고자료와 매칭하고, T-test와 이항 로지스틱 회귀분석을 사용하여 분석하였다.

T-test결과, 6개 변수( $AX_i^{SD}$ ,  $AX_i^{MM}$ ,  $AY_i^{SD}$ ,  $AY_i^{CV}$ ,  $AZ_i^{85th}$ ,  $RAMP_i$ )가 사고발생구간과 사고미발생구간에서 평균의 차이를 가지는 변수로 도출되었다. 도출된 6개 변수를 이항 로지스틱 회귀분석의 독립변수로 설정하고 사고발생 유·무를 종속변수로 설정하였다. 이항 로지스틱 회귀분석결과, 5개의 변수( $AX_i^{SD}$ ,  $AY_i^{SD}$ ,  $AY_i^{CV}$ ,  $AZ_i^{85th}$ ,  $RAMP_i$ )가 사고발생에 영향을 미치는 변수로 도출되었다. 도출된 5개 변수를 이용하여 사고발생 구간을 예측하는 이항 로지스틱 회귀모형을 제시했으며, 이항 로지스틱 회귀모형을 통해 분류된 분류정확도는 69.0%로 나타났다.

따라서, 본 연구에서 도출된 위험운전행태 변수 및 모형은 프로브차량에 설치하여 활용할 수 있는 OBU(On-Board Unit)의 소프트웨어로 적용하여 사고위험도 및 안전성평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나, 도출결과에 대한 보다 높은 신뢰성을 확보하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 연구가 필요하다.

첫째, 본 연구에서는 분석단위구간을 km단위로만 구분하여 속도, 가속도 및 사고자료를 분석하였다. 따라서, 산술적인 수치에 의한 분석대상구간 설정 이외에 기하구조특성, 교통류특성 등이 반영된 분석단위구간의 설정이 필요하다.

둘째, 2대의 프로브차량이 서해안고속도로를 주행한 가속도 자료에 한정되어 있다. 본 연구결과와 신뢰성을 높이기 위해서는 서해안고속도로를 제외한 노선 및 피실험인원의 확보를 통한 추가적인 연구가 필요하다.

셋째, 위험운전행태를 가속도 및 가속도 변화량을 이용한 잠재적 변수를 설정하고, 사고위험도 평가 사례의 임계값을 0.8로 적용하여 평가사례를 제시하였다. 그러나, 본 연구에서 사용한 잠재적 변수외에 운전자의 위험운전행태를 나타내는 대표성을 가진 변수와 사고위험도를 평가하는 적정 임계값에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

넷째, 센서 측정값에 영향을 미칠 가능성이 존재하지만, 본 연구에서는 고려되지 못한 영향요인(차량 흔들림, 센서 자체 및 측정 오류 등)에 대한 추가적인 고려가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(06-교통핵심-A01-01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- 박영진, 서원호, 박창호, (2002) “곡선부 주행차량의 속도변화 추정 모형 개발”, *대한토목학회논문집*, 제22권, 제1-D호, pp.45~57
- 이성우, 민성희, 박지영, 윤성도, (2005) “로짓·프라빗모형 응용”, 전영사
- 이점호, 이동민, 최재성, (2002) “평면곡선부의 속도 및 교통사고 영향분석 연구”, *대한교통학회지*, 제18권, 제1호, pp.35~43
- 이학식, 임지훈(2009), “SPSS 16.0 매뉴얼”, 법문사
- 하태준, 이석, (2002) “지방부2차로 안전성평가에 관한연구”, *대한교통학회지*, 제20권, 제1호, pp.121~130
- 하태준, 박제진, 김유철, (2003) “가속도를 고려한 도로의 설계일 관성 평가기법에 관한 연구”, *대한교통학회지*, 제21권, 제1호, pp.127~136
- A.E. af Wahlberg, (1991) “The stability of driver acceleration behavior, and a replication of its relation to bus accidents”, *Accident Analysis and Prevention*, 2004, pp.83~92
- behavior and drivers' attitude to speeding”, *VIC Roads*, General report, no.16
- C.N. Kloden, G. Ponte, A. J. McLean, and G. Glonek, (2002) “Reanalysis of travelling speed and the rate of crash involvement in adelaide south australia”, *Australian Transport Safety Bureau*, no. CR 207
- Douglas Gabauer and Hampton C. Gabler, (2005) “Evaluation of the acceleration severity index threshold values utilizing event data recorder technology”, *Transportation Research Board*
- Jones and Potts, (1962) “The Measurement of Acceleration Noise-A Traffic Parameter”, *Operations Research*, pp.745~763
- Joonho Ko, Randall Guensler, Michael Hunter, (2010) “Analysis of effects of driver/vehicle characteristics on acceleration noises using GPS-equipped vehicles”, *Transportation Research Part F*, pp.21~31
- Maycock, G., Brocklobank, P. J., and Hall, R. D., (1999) “Road layout design standards and driver behavior”, *TRL Report No.322*. Transport M. C. Taylor, D. A. Lynam, and A. Baruya, (2000) “The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents”, *Transport Research Laboratory*, no. 421
- N. J. Garber, and R. Gadiraju, (1989) “Factors affecting speed variance and its influence on accidents”, *Transportation Research Record*, no.1213, pp.64~71
- Nathan Gartner, C.J.Messer, and Ajay K. Rathi, (1997) “Traffic Flow Theory”, *Transportation Research Board*, National Research Council Washington, D.C.
- Salvator Cafiso and Grazia La Cava, (1999) “Driving performance, alignment consistency, and road safety”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. No.2102, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp.1~8
- Salvator Cafiso, Alessandro Di Graziano, and Grazia La Cava, (2005) “Actual driving data analysis for design consistency evaluation”, *Transportation Research Board of the National Academies*, Washington, D.C.
- Quimby, A., Maycock, G. Palmer, C., and Buttress, S., (1999) “The factors that influence a driver's choice of speed : a questionnaire study”, *TRL Report No.325*, Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire

접 수 일 : 2010. 12. 30  
심 사 일 : 2010. 12. 30  
심사완료일 : 2011. 5. 30