

# 디지털운행기록을 활용한 우천시 주요 운전행동과 사고와의 상관성 분석: 서울시 택시 운행자료를 중심으로

이주영 · 여지호\*

한국과학기술원(KAIST) 조천식녹색교통대학원 박사과정

## Analysis of Driving Behavior and Correlation with Crashes in Rainy Weather Using Digital Tachograph: Focusing on Driving Record of Taxi in Seoul

LEE, Jooyoung  · YEO, Jiho\* 

Ph.D Course, The Cho Chun Shik Graduate School for Green Transportation, KAIST, Daejeon 34141, Korea

\*Corresponding author: jiho@kaist.ac.kr

### Abstract

Despite number of traffic crashes in Korea has been decreasing due to continuous efforts to improve traffic safety, there are still high fatalities compared with OECD countries. Therefore, in-depth study of traffic crash is needed. Especially, recent data collection technology enables us to investigate driver's driving behavior. The driving behavior of the driver is greatly influenced by the environment of roadway, weather conditions, and so on, so it is necessary to analyze the driving behavior in consideration of the surrounding environment. In this study, driving behavior according to weather condition was analyzed using 10-day driving record data collected from the digital tachograph during September 2008 to December 2013 of taxi in Seoul. Using the data from the Korea Meteorological Administration (KMA), driving record data is distinguished between rainy and clear by day of operation. Driving behaviors were analyzed by clustering analysis to derive a total of 12 representative driving behaviors and analyzed the differences according to rainy and clear cases. In addition, spatial analysis of past crashes showed that crashes had a high positive correlation with driving behavior in rainy weather, and major driving behaviors at the accidents at rainy days were sudden braking and sudden starting behavior. In this study, the characteristics of each weather condition were derived by comparing and analyzing the difference of driving behavior according to the weather condition using the driving record data, and the main factors influencing the crash occurrence were derived. If we increase the amount and duration of driving record data, it is possible to analysis more generalized relationship between driving behavior and crases according to weather conditions. Through this, it is possible to establish pre-emptive traffic safety measures and to enhance safety driving information by deriving risk behaviors according to weather conditions.

**Keywords:** crash analysis, digital tachograph, driving behavior, rainy weather, spatial analysis

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.36, No.6, pp.493-502, December 2018  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.6.493>  
pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

#### ARTICLE HISTORY

Received: 9 November 2018  
Revised: 13 December 2018  
Accepted: 26 December 2018

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.

## 초록

교통안전 증진을 위한 지속적인 노력으로 국내 교통사고수는 감소하는 추세를 보이고 있다. 하지만 여전히 OECD 국가 평균 대비 높은 사망자를 발생시키고 있으며, 이를 해결하기 위해 지속적인 연구가 수행되고 있다. 특히 최근 데이터 수집기술의 발달로 운전자의 운전행동에 대한 연구가 활발히 수행이 되고 있다. 운전자의 운전행동은 주행하고 있는 도로의 환경, 기상상황 등에 큰 영향을 받기 때문에 주변환경을 고려하여 운전행동을 분석할 필요성이 있으며, 이에 본 연구에서는 서울지역 택시의 디지털 운행기록계로부터 수집된 2013년 9월 중 10일간의 운행기록자료를 활용하여 기상상황에 따른 운전 행동을 분석하였다. 기상청 자료를 이용하여 운행기록일별로 우천시와 맑은 상황을 구분하였고, 클러스터링 분석을 활용하여 총 12가지의 대표운전행동을 각각의 기상상황에 따라 비교 분석하였다. 또한, 과거 사고와의 공간분석을 통해 우천시 사고가 운전행동과 높은 양의 상관관계를 가짐을 보이고, 우천시 사고 다발지점에서의 주요 운전행동이 급제동과 급출발 행동이었음을 도출하였다. 본 연구는 대용량의 운행기록자료를 이용하여 기상상황에 따른 운전행동의 차이를 도출하고 운전행동과 교통사고 간의 상관관계를 증명하였다는 점에서 의의가 있다. 추후 분석 데이터양과 기간을 늘린다면 보다 일반화된 각 기상상황에 따른 운전행동과 사고 간의 관계에 관한 연구가 가능하다. 이를 통해 기상상황에 따른 사고 위험 행동들을 도출하여 선제적인 교통안전 대책 수립 및 안전운행정보 고도화가 가능할 것으로 판단된다.

**주요어:** 사고 분석, 디지털운행기록, 운전행동, 강우, 공간분석

## 서론

경찰청 사고 통계에 따르면 2017년 국내 교통사고 발생 건수는 216,335건으로 2016년 대비 4,582건 줄었지만 최근 10년간 통계를 살펴보면 교통사고 발생 건수가 215,000건에서 232,000건 범위에서 더 감소하지 못하고 있다. 또한, 작년 교통사고 사망자 수는 4,190명으로 1만 명당으로 환산하면 1.9명인데, 이는 0.5명인 OECD 국가 평균 대비 약 4배 높은 수치를 보인다. 교통사고 발생 감소 및 안전 증대를 위해 지속적인 노력이 필요하며 현재 다양한 측면에서 연구가 수행되고 있다. Lum and Reagan(1995)의 연구에 따르면, 인적요인과 도로환경 요인이 교통사고와 연관된 비율이 약 86%로 사고 대부분의 주요 요인으로 판단할 수 있다. 교통사고는 사람, 차량, 도로환경의 3요소로 구성되며 이들이 결합되거나 개별적으로 사고의 발생원인이 된다. 이에 운전자의 개인 성향에 따른 요인도 존재하지만, 도로환경이 운전자 행동에 영향을 미치는 경우도 많으므로 이 둘의 관계에 관한 연구도 많이 수행되었다. 특히 기상상황은 운전자의 시야 및 도로환경에 모두 영향을 미치는 요인으로 교통안전에 미치는 영향이 크다 (Andrey et al., 2003). 기상상황과 교통사고에 관한 연구들은 대부분 우천시 사고심각도가 높거나 사고 발생 횟수를 높인다는 연구결과를 보였다(Theofilatos et al., 2014). 그러나 사고의 특성상 발생횟수가 매우 적고 산발적이며 기상상황과 함께 연관시켜 분석하기에는 샘플확보가 더 어려워 연구결과를 실제적인 안전 개선에 활용하는 데 한계가 존재했다. 또한, 우천의 영향을 측정하기 위해서는 운전자의 행동 변화에 대한 데이터가 필요한데, 기존에는 VDS 검지기 또는 일부 구간에 대한 영상 검지 등의 자료만을 이용하였으므로 운전자의 개별 행동을 비교하여 연구에 활용하는 데 어려움이 있었다. 그러나 최근 통신 및 교통 데이터 수집 기술의 발전을 통해 개별 차량의 주행기록을 실시간으로 기록할 수 있는 디지털 운행기록계(Digital Tachograph, DTG)가 장착되어 운행하고 있는 차량이 늘어났다. 특별히 국내에서는 일반 차량보다 운전 시간 및 주행거리가 길어 약 5배 더 높은 사고율을 보이는 사업용 자동차에 DTG를 의무장착하도록 법을 개정하여 교통안전공단에서 각 차량들의 운행기록을 관리하고 있다. 운행기록 자료를 활용한다면 기존 연구의 한계를 극복하여 우천상황에 따른 개별 운전자의 행동 변화를 분석할 수 있으며, 이를 통해 우천시 사고에 영향을 미치는 주요 위험행동 도출이 가능하다. 이에 본 연구에서는 서울시 택시 운행기록을 이용하여 운전자의 운전행동들을 도출하여 우천시와 맑은 날에서의 운전행동 차이를 분석하고, 사고와 운전행동 간의 공간분석을 실시하여 우천

상황의 사고 특성 분석 및 주요 영향요인 도출을 목적으로 한다.

기존 기상상황과 교통안전과 관련된 연구는 크게 기상이 교통사고에 미치는 영향에 관한 연구와 기상이 운전행동에 미치는 영향으로 구분할 수 있다. Theofilatos et al.(2014)는 세계 여러 나라의 기상과 교통사고에 대한 논문들을 분석하였다. 각 연구 별로 사용한 교통사고 변수는 사고심각도와 사고 발생횟수로 나뉘지며, 교통 변수들로는 통행속도, 속도분산, 교통량, 밀도 등의 교통류 변수들을 이용하였고, 기상요인은 대다수가 우천을 대상으로하고 경우에 따라 온도, 풍속, 강설 등에 대한 정보를 추가하여 분석하였다. 많은 연구에서 우천시 교통사고 횟수가 증가하는 경향을 보였으나 사고심각도에 미치는 영향은 서로 다른 결과를 보였다. 우천 외의 다른 기상변수들은 교통사고와의 명확한 관계성을 보이지 않았다. Jung et al.(2010)은 로지스틱 회귀 분석을 이용하여 우천 변수를 고려한 고속도로 단일차량 사고심각도 예측 모형을 개발하였다. Brijs et al.(2008)은 일 단위 기상데이터와 교통류 정보를 이용해 기상 상황이 교통사고 수 증가에 영향을 미침을 발견하였다. Park et al.(2010)은 기상요인과 도로 선형 요소를 함께 고려하여 교통사고 영향요인을 분석하였다. Lee et al.(2015)는 로지스틱 회귀모형과 의사결정나무 기법을 함께 이용하여 기상요인의 영향 정도에 따른 교통사고 발생 여부에 대한 예측 모형을 개발하였다. 기상상황이 운전행동에 미치는 영향에 관한 연구는 대부분 속도 변화에 초점을 맞춰 수행되었다(Kyte et al., 2004). Kilpelainen et al.(2007)은 설문조사를 통해 기상상황에 따른 운전자들의 속도 변화에 대한 분석을 수행하여 예보 정보는 운전행동 변화에 미치는 영향이 적고, 운전하는 중의 기상변화가 주요 원인임을 도출하였다. Jung et al.(2013)은 RWIS 자료와 검지기 자료를 이용하여 강우량에 따른 속도 감소 패턴을 예측하는 인공지능망 방법론을 제시하였다. 기상요인이 교통사고에 미치는 영향에 관한 연구들은 주요 요인 도출을 위해 회귀 분석을 이용하였으며, 이때 사용한 변수들은 교통류 변수들을 중심으로 분석에 활용하였다. 교통사고의 구성요소 중 큰 부분을 차지하는 운전행동을 기상상황과 연계하여 연구에 이용한 경우는 부족하며, 운전행동과 기상에 관한 연구들은 데이터 수집 기법의 한계로 인해 측정이 용이한 속도 변화에 초점을 맞춰 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 매초 기록되는 택시 운전자들의 운행기록을 이용하여 속도, 가속도, 조향각을 함께 고려하여 클러스터링 기법을 통해 주요 운전행동을 도출하고, 우천여부에 따라 이들 행동이 어떤 차이를 보이는지 분석하였다. 또한, 우천 여부에 따라 사고 발생 지역에 대한 공간분석을 실시하여 우천시 사고 발생에 영향을 미치는 주요 운전행동을 도출하였다는 데 기존 연구와 차별성을 가진다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 연구에 사용한 데이터 설명을 포함한 연구방법론을 설명하고, 3장에서 각 방법론에 따른 연구결과에 대해 정리하고, 4장에서 결론을 제시하였다.

## 데이터 개요 및 연구방법론

### 1. 데이터 개요

디지털운행기록계는 부착된 차량의 주행 속도, 가속도, 위치 등 차량 운전정보를 실시간으로 저장하는 운전자 안전 관리용 장치이다. 국내에서는 2011년에 모든 사업용 자동차에 의무적으로 디지털운행기록계를 설치하여 과속, 급가속 등과 같은 위험운전행동을 관리하기 위한 법안을 제정했다. 이 법안 이후로 디지털운행기록계가 장착된 사업용 자동차의 수가 점차 증가했고 이들 차량으로부터 많은 양의 실시간 주행기록이 수집되고 있다. 사업용 자동차의 운행기록자료 관리 주체는 한국교통안전공단이며, eTAS라는 분석 시스템을 운영하여 수집된 데이터를 관리하고 운수업체 및 종사자들에게 안전운행 지원서비스를 제공하고 있다. 운행기록계에서 수집하는 데이터 항목은 자동차 운행기록 및 장치에 관한 관리지침에서 규정하고 있다. 차량 정보, 주행날짜, 총주행 거리, 주행 속도, RPM, GPS 방위각, GPS 좌표 등이 매초 기록된다. 본 연구에서는 8대의 서울지역 택시로부터 2013년 9월 중 수집된 10일간의 운행기록자료를 활용하였다. 기상청의 과거 기상정보를 이용하여 운행기록일별로 우천시와 맑음 상황을 구분하여

우천시 5일, 맑음 시 5일로 나누어 기상상황에 따른 운전행동을 분석하였다. 운전행동 도출을 위해서는 주행데이터 중에서 속도, 가속도, 조향각을 이용하였다. Table 1에서 분석에 사용한 운행기록 데이터에 대하여 정리하였다.

**Table 1. Description of DTG**

Category	Description			
Vehicle type	Corporation owned 8taxis			
Region	Seoul, South Korea			
Weather	Rain	September 2013: 10, 11, 13, 14, 29		
	Clear	September 2013: 03, 04, 17, 18, 27		
Record list	Category	Units	Note	
	Driving information	Longitudinal speed	Km/h	
		Longitudinal acceleration	Km/h/sec	
		Yaw rate	Degree/sec	
		Brake sensor	0, 1	
		Vehicle information	Date	16digit
		Speed limit	km/h	
		Mileage	Km/day	
		Location	Road name	
		Vehicle number	4digit number	

운행기록자료를 통해 도출한 운전행동과 실제 교통사고 사이의 상관성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 운행기록자료의 수집 시점인 2013년을 전으로 하여 지난 3년 동안(2011 - 2013년) 서울에서 발생한 택시 교통사고 데이터를 수집하였다. 데이터는 TAAS 교통사고분석시스템을 통하여 수집하였으며, 총 31,303건의 교통사고 자료를 수집하였다. 수집된 자료는 사고의 공간적 좌표와 사고 당시의 기상상황에 대한 정보를 포함하고 있으며 이를 기반으로 운행기록자료를 통해 도출한 운전행동과 사고 사이의 공간적 상관성 분석이 가능하다. 기상상황에 따라 맑은 날 발생한 사고와 우천시 발생한 사고를 각각 추출하였다. 2011 - 2013년에 발생한 사고 중 맑은 날 발생한 사고 수는 25,705건이었으며 우천시 발생한 사고 수는 3,249건으로 나타났다.

법인택시의 운행은 차고지를 중심으로 이루어지기 때문에, 서울시 전역을 대상으로 할 경우 결과에 오류가 존재할 수 있다. 따라서 사고와 운전행동 사이의 상관성 분석을 수행할 때 법인택시 차고지 인근의 8개 구(용산구, 양천구, 구로구, 영등포구, 동작구, 관악구, 서초구, 강남구)를 분석의 공간적 범위로 설정하여 연구를 수행하였다. 해당 지역에서 발생한 택시 사고수는 총 3,839건으로 이 중 453건이 비가 오는 날 발생하였다.

## 2. 연구 개요

본 연구의 목적인 우천상황에서의 운전행동 분석 및 우천시 사고와 관련된 주요 운전행동 도출을 위해서 Figure 1의 절차에 따라 연구를 수행하였다. 현재 교통안전공단에서 디지털운행기록계로부터 운전행동을 분류하는 기준은 위험운전에 초점이 맞춰져 있으며, 차량 주행 환경에 따라 달라지는 복합적인 운전행태를 도출하는데 한계가 있으므로 본 연구에서 분석하고자 하는 주요 운전행동과 차이가 존재하므로 다른 방법론을 이용하여 운전행동을 정의하였다. 본 연구에서는 정속운행이나 정지 상황을 제외한 운전자가 가속페달이나 조향장치를 이용하여 차량을 조작하는 행동을 운전행동으로 정의하고, 급변점 검지 기법을 이용하여 운전 이벤트를 도출한다. 최종 운전행동은 15초 단위의 운전 이벤트들을 클러스터링하여 적합한 단위로 정의하여 전체 택시운전자들의 평균 운전행동을 도출한다. 이후 도출된 운전행동들을 GIS를 이용하여 지도상에 표출하고, 밀도도(Density map)를 구축하여 사고와의 공간적 상관관계를 도출하여 우천시 운전행동이 사고에 미치는 영향에 대해 분석한다. 마지막으로 사고 다발지점에 대하여 어떠한 행동들이 사고와의 연관성이 높은지 분석하여 우천상황의 사고 특성 분석 및 주요 영향 운전행동을 도출하였다.

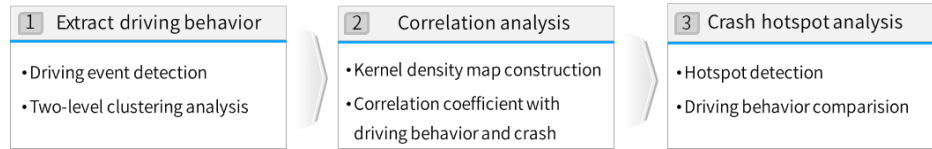


Figure 1. Process of research

### 3. 클러스터링 분석을 통한 운전행동도출

운전행동도출을 위해 운전이벤트 추출이 필요하다. 본 연구에서는 Lee et al.(2017)에서 제시한 운전행동 도출 기법을 이용하였다. 운전행동을 운전자가 가속페달이나 조향장치를 이용하여 차량을 조작하는 행동으로 정의하였으므로, 운행기록에서 매초 기록되는 속도, 가속도, 조향각을 동시에 고려하여 누적합 기법 기반의 급변점 검지를 수행하였다. 누적합 급변점 검지 알고리즘은 일정 크기의 time window를 따라 현 상태가 일반적인 상태( $H_0$ )인지 특이 상태( $H_1$ )인지를 검정하는 것으로, 목표치( $\mu_0$ )와 샘플 통계치( $x_i$ )의 차의 합으로 구성된 Equation 1의 통계량이 결정구간( $h$ )을 초과하는지로 특이점을 탐지한다.

$$H_0 : \sum_{i=1}^k (x_i - \mu_0) < h \quad (1)$$

추출된 운전이벤트들을 클러스터링 분석을 통해 비슷한 특성을 지닌 이벤트들로 군집화하고, 각 클러스터의 특성을 비교하여 운전행동 정의가 가능하다. 본 연구에서는 자기조직화지도(Self-organizing map)와 K-means 클러스터링을 함께 이용하는 2단계 클러스터링 기법을 이용하여 운전행동을 도출하였다. 자기조직화지도는 입력된 운전이벤트들을 경쟁 학습법에 의해 상호 비교하여 스스로 정해진 클러스터로 분류하여 2차원 지도에 표현할 수 있다(Kohonen, 1990). 그러나 생성된 자기조직화지도의 클러스터를 그대로 이용하기에는 운전행동을 정의하기 어렵기 때문에 생성된 2차원 지도를 K-means 클러스터링 기법을 이용하여 재차 클러스터링해 분석에 적합한 클러스터수로 축소할 수 있다(Vesanto, 1999). 최종 도출된 클러스터별로 중심점에 가까운 이벤트를 분석하여 클러스터별로 운전행동을 정의하였다.

### 4. 교통사고와 운전행동간 상관성 분석

교통사고와 운전행동의 발생이 공간적으로 상관관계가 존재하는지 분석하기 위하여 각각에 대하여 밀도도를 생성하였다. 밀도도를 이용하여 표현할 경우 공간적인 사고 분포를 평활화하여 나타내기 때문에 사고가 직접 발생하지 않은 지역에 대해서도 예측값을 추정할 수 있으므로 효과적으로 상관성 분석이 가능하다. 밀도도 생성은 Equation 2의 basic quartic kernel 함수를 이용하여 밀도를 계산하였다.

$$K(u) = \frac{15}{16}(1-u^2)^2 * \delta(u), \quad \delta(u) = \begin{cases} 1 & |u| \leq 1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

사고 발생 빈도와 운전행동 발생 빈도는 선형의 관계를 따를 것으로 예상되므로 피어슨 상관계수를 이용하여 분석을 수행하였다. 피어슨 상관계수는 -1.0에서 +1.0 사이의 값을 가지는데, 0에 가까울수록 분석 대상들의 상관이 낮음을 의미하며, 절댓값 1에 가까울수록 상관이 높음을 나타낸다. 공간적 상관분석은 이벤트별 밀도도를 이용하여 수행하며, 본 연구에서는 ArcGIS에서 제공하는 Band collection statistics toolbox를 이용하여 밀도도들의 상관계수를 추정하였다. Equation 3을 이용하여 사고와 운전행동 밀도도의 공분산( $cov( Crash, Beh)$ )을 계산하고, 이를 이용하여 상관계수( $r$ )를 구한다.

$$cov(Crash, Beh) = \frac{\sum_{k=1}^N (d_{crash,k} - \mu_{crash})(d_{beh,k} - \mu_{beh})}{N-1} \tag{3}$$

$$r = \frac{cov(d_{crash}, d_{beh})}{\sqrt{var(crash)} \sqrt{var(beh)}} \tag{4}$$

여기서,  $d$ : 해당하는 이벤트에 대한 각 셀의 밀도  
 $\mu$ : 해당 이벤트의 평균값  
 $N$ : 전체 셀의 개수

### 5. 강우시 사고다발지역에서의 운전행동 비교

강우시 어떤 운전행동이 사고와 연관성이 높은지 규명하고, 사고다발지역에서의 운전행동의 차이점을 도출하기 위해 다음과 같은 절차로 연구를 수행하였다. 먼저, 사고가 빈번히 발생하는 지역을 선정하기 위해 연구 지역을 500m by 500m 격자로 구분하고, 그 중 사고가 발생한 803개의 격자를 추출하였다(Figure 2 참조). Figure 2의 오른쪽 boxplot은 격자 단위로 합산된 사고 수의 분포를 보여준다. 분포가 오른쪽으로 긴 꼬리(right-skewed)를 가지는 것을 확인할 수 있으며 이는 사고가 일반적인 상태에 비교해 더 많이 발생하는 지역이 존재한다는 것을 시사한다.

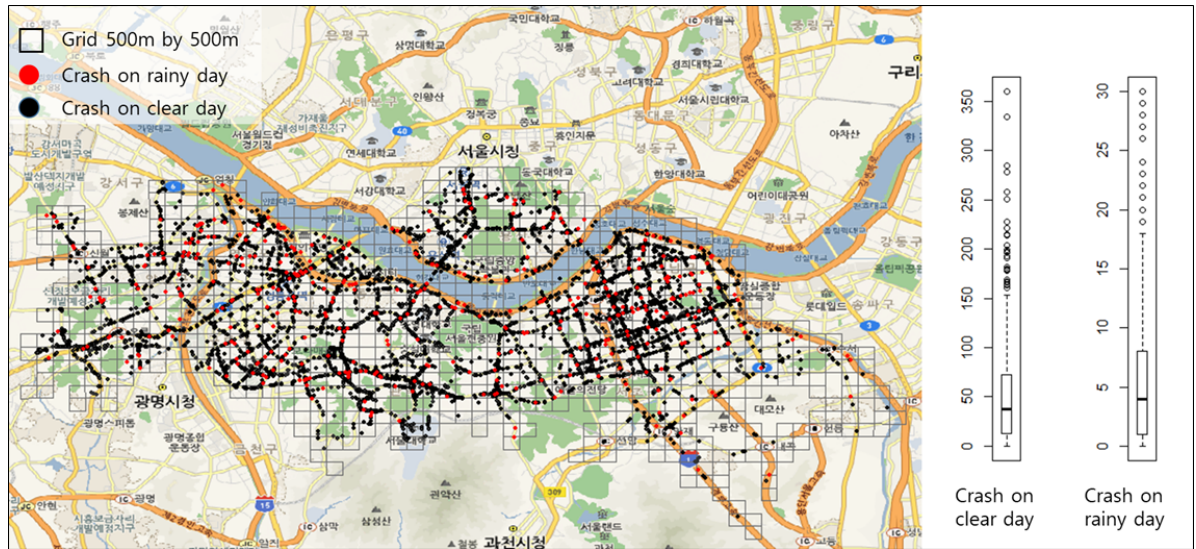


Figure 2. Crashes occurred in 2011 - 2013 by weather condition in the study site

강우시 사고다발지역을 선정하기 위해 먼저 격자 단위로 계산된 사고 수의 3분위 값을 기준으로 사고가 80건 이상 발생한 지역을 추출 하였다. 추출된 지역 중 비가 오는 날 사고가 많이 발생한 지역을 추출하기 위해 맑은 날 대비 우천시 날 발생한 사고의 비율을 격자단위로 계산하였다. 이 비율의 분포는 Figure 3과 같다. 중위값은 0.083이며 이는 비오는 날 사고의 빈도가 맑은 날 대비 8.3% 정도 발생한다는 것을 의미한다. 이 중 우천시 사고가 보다 많이 발생한 지역을 추출하기 위해 강우시 발생한 사고의 비율이 3분위 값을 계산하였고 최종적으로 맑은날 대비 비오는 날 사고의 비율이 15.1% 이상인 지역을 추출하였다. 그 결과 총 803개의 지역 중 36개의 지역이 강우시 사고가 빈번히 발생하는 지역으로 최종 선정되었고, 해당 지역에서의 운전행동을 도출하였다.

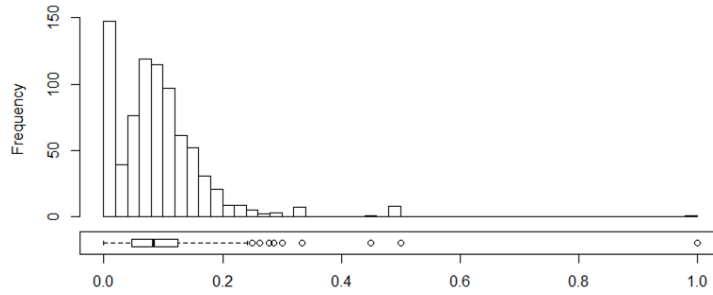


Figure 3. Crash ratio (rainy day/clear day)

## 연구 결과

### 1. 운전행동 도출 결과

분석에 사용되는 데이터는 GPS 센서를 이용하는 특성상 이상값에 대한 전처리가 필요하다. 이를 위해 센서값이 직전 값에 비해 크게 차이가 나는 경우에 대한 사전분석을 수행하였고, 최대속도 200km/h, 최대 가·감속도  $\pm 30\text{km/h/sec}$ , 최대 조향각  $\pm 60\text{degree/sec}$ 로 이상값 처리 기준을 설정하였다. 이후 급변점검지를 위해 세 개의 센서 데이터의 변화량을 동일시하기 위해  $\pm 1$  정규화를 수행한 후, 누적합 기법을 이용하여 결정구간( $h$ ) 이상의 수치를 보이는 운전행동을 추출하였다. 변화량이 클수록 사고와의 관련성이 높고, 기상상황에 따른 운전행동의 차이가 명확하게 나타날 것으로 예상되므로 결정구간( $h$ )을 전체 변화량 수치중 상위 2%에 해당하는 0.4로 정의하였다. 이를 통해 검지된 운전이벤트는 총 3,480개이며 각 15초간의 운전정보를 담고 있다. 도출된 운전이벤트들을 이용하여 2단계 클러스터링 분석을 수행하였다. 1단계 클러스터링은 자기조직화 지도를 이용하였는데, 일반적으로 샘플수의 제곱근의 5배 값을 클러스터 개수로 설정한다. 본 논문에서는 총 260개( $20 \times 13$ )의 클러스터를 설정하여 학습시켰다. 2단계 클러스터링은 K-means 클러스터링을 이용하였으며, 입력값으로는 1단계에서 도출된 자기조직화지도의 260개 중심값으로 설정하였다. 대표 운전행동 도출을 위하여 적절한 클러스터 개수를 정하기 위해서 클러스터 수를 증가시켜 가며 각 경우에 따라 5,000번 클러스터링을 수행하여 가장 좋은 결과를 이용하였다. 최종 클러스터 개수 결정은 군집간 차별성을 측정할 수 있는 sum of squares 그래프를 이용하여 11개로 결정하였다. 도출된 클러스터별로 중심에 가까운 이벤트들의 센서값을 비교하여 어떤 운전행동인지 정의할 수 있다. Figure 4는 우천시 가장 많이 관측된 클러스터 2에서 도출된 센서값으로, 평균 40km/h로 주행하다 급격히 속도를 감소하는 급정지 행동으로 정의하였다.

각 클러스터별로 동일하게 센서값을 비교하는 과정을 거쳐 정의된 최종 운전행동 및 기상상황에 따른 각 이벤트 수는 Table 2와 같다. 브레이크를 급격히 조작하는 급정지의 운전행동이 비오는 날 매우 높은 것을 알 수 있다. 반면 맑은 날의 경우 상대적으로 우회전을 급격하게 하는 빈도가 많은 것을 볼 수 있다.

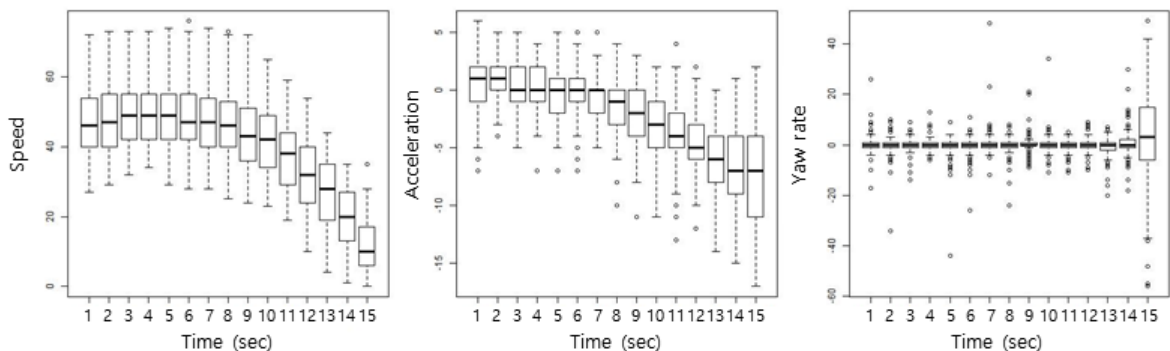


Figure 4. Driving behavior sensor data of Cluster 2

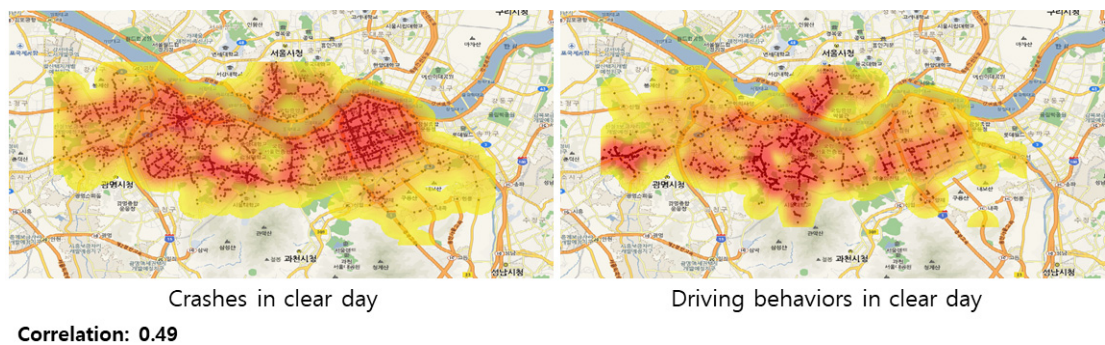
**Table 2.** Driving behaviors of taxi driver in Seoul

Abrupt behavior	Clear		Rainy	
	# of events	Proportion (%)	# of events	Proportion (%)
Overtake	14	0.79	30	1.98
Rapid stop	134	7.60	386	25.44
Deceleration at 40km/h	217	12.30	147	9.69
Deceleration at 60km/h	104	5.90	85	5.60
Acceleration after deceleration	187	10.60	139	9.16
Rapid start	375	21.26	292	19.25
U-turn	4	0.23	15	0.99
Right turn at 20km/h	266	15.08	108	7.12
Right turn at 40km/h	252	14.29	130	8.57
Left turn at 0km/h	111	6.29	109	7.19
Left turn at 20km/h	100	5.67	76	5.01

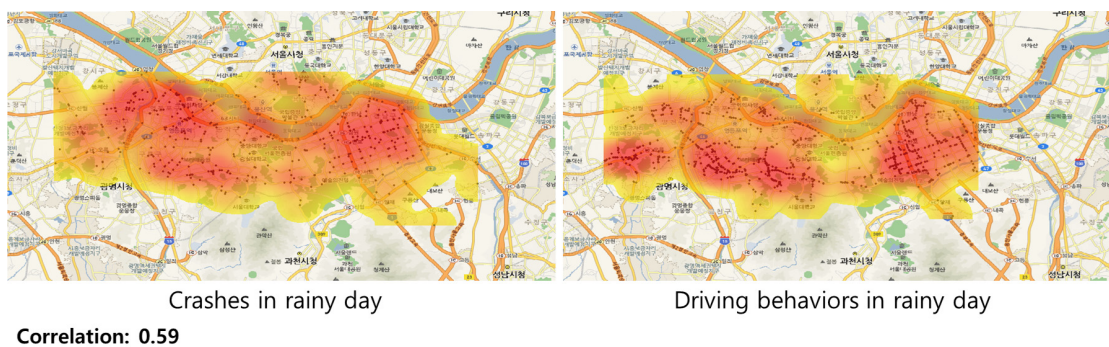
## 2. 교통사고와 운전행동간 상관성 분석 결과

맑은 날의 교통사고와 운전행동의 공간적 분포와 이에 따른 Kernel density는 Figure 5와 같다. 사고는 강남구, 서초구에 많이 밀집해 있는 것을 확인할 수 있지만 운전행동의 경우 동작구, 관악구 일대에 보다 밀집되어 있는 것을 볼 수 있다. 이 둘 사이의 공간적 상관성은 0.49로 양의 상관성을 가지지만 매우 강한 상관성을 갖지 않는 것을 알 수 있다.

반면 Figure 6은 비가 오는 날의 교통사고와 운전행동의 공간적 분포와 공간적 상관성을 보여준다. 맑은 날에 비해 넓은 범위에서 운전행동이 발생한 것을 볼 수 있으며 공간적 상관성도 0.59로 맑은 날에 비해 높은 양의 상관성을 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 비가 오는 날의 운전자의 급격한 운전행동의 변화는 사고와 더 밀접한 연관이 있다는 것을 나타낸다.



**Figure 5.** Spatial distribution and kernel density of crashes and driving behaviors in clear day



**Figure 6.** Spatial distribution and kernel density of crashes and driving behaviors in rainy day



### 3. 우천시 사고다발지역에서의 운전행동 도출 결과

전장에서 도출한 우천시 사고 발생비율이 높은 지역 안에서의 운전행동 통계는 Table 3과 같다. 운전행동 역시 비가 오는날 발생한 행동을 추출하였으며 전체 3,281건의 행동 중 3.3%인 109건의 행동이 해당지역 내에서 발생하였다. 서울 전체지역을 대상으로 한 Table 2와 비교하여 보았을 때 급정지와 급출발 행동이 더 많이 관측되는 것을 확인할 수 있으며, 특히 급출발의 비율이 매우 높아지는 것을 볼 수 있다. 이는 해당 행동이 사고다발지역에서는 더 빈번히 발생하며 우천시 사고 발생에 주요 원인 행동이 될 수 있음을 나타내며 해당지역 안전개선에 참고자료로 활용할 수 있다.

**Table 3.** Driving behaviors in crash hotspots in a rainy day

Abrupt behavior	Number of events	Driving time	Proportion (%)
Overtake	2	15	0.93
Rapid stop	30	450	27.78
Deceleration at 40km/h	9	135	8.33
Deceleration at 60km/h	4	60	3.70
Acceleration after deceleration	11	165	10.19
Rapid start	30	450	27.78
U-turn	0	0	0.00
Right turn at 20km/h	8	120	7.41
Right turn at 40km/h	3	45	2.78
Left turn at 0km/h	8	120	7.41
Left turn at 20km/h	4	60	3.70
Total	108	1,620	100


## 결론 및 향후연구

본 연구는 디지털운행기록에서 수집되는 실시간 주행기록자료를 이용하여 서울지역 택시 운전자의 대표 운전행동 11가지를 정의하고, 우천시에 사고와 연관성이 높은 주요 요인을 도출하였다. 2013년 9월 중 10일간의 디지털운행기록계 데이터를 활용하여 운전이벤트 검지, 클러스터링 분석의 과정을 거쳐 총 11개의 대표 운전행동을 도출하였다. 도출된 운전행동을 기상상황에 따라 맑은 날과 우천시로 구분하여 각 상황에 따라 운전행동이 어떤 차이를 보이는지 비교하였고, 과거 사고와의 공간적 상관분석을 통해 우천시에 사고가 운전행동과 더 높은 양의 상관관계를 가짐을 보였다. 또한, 사고다발지역 선정 기준을 정하고 해당 지점들에서 기상상황에 따라 운전행동 차이를 분석하였다. 우천시 사고다발지역에서는 급제동과 급출발 운전행동을 많이 하는 경향을 확인하였으며, 해당 행동들이 사고 발생과 관계가 높은 행동들일 것으로 추정할 수 있다. 본 연구의 결과는 운행기록을 이용해 도출된 운전행동을 활용하여 기존에 수행하지 못했던 운전자 측면에서의 교통안전 분석이 가능함을 보였고, 우천시와 맑은 날에 따른 운전행동의 차이를 분석하여 일반적인 택시 운전자들의 운전 경향을 확인하였다. 또한, 사고와 운전행동간의 공간분석을 통해 우천시의 운전행동들이 사고와의 상관관계가 높고, 다발지역에서 특별히 급제동과 급출발 행동이 주요 요인임을 도출하였다. 본 연구는 대용량의 운행기록자료를 이용하여 기상상황에 따른 운전행동과 교통사고간의 분석을 수행하였는데 의의가 있으며 우천시 사고 예방을 위해 본 연구에서 도출된 운전행동 분석 내용을 기반으로 선제적인 도로 안전 개선에 활용이 가능하다. 본 연구에서 이용한 샘플 자료가 9월, 서울지역으로 한정되어 있어 계절과 지역마다 기상 상황 및 외부요인이 다양한 국내의 전반적인 상황을 반영하는 데 한계가 존재한다. 추후 분석 대상 지역 및 기간을 늘려 다양한 기상요인과 도로 환경 요인의 추가적인 검토가 필요하며, 운전행동 비교시 각 차량의 주행거리 및 운행시간에 대한 고려를 통해 보다 일반화된 결과 도출이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 강우의 여부에 따라 운전행동을 구분하였는데 강우의 강도를 고려하여 연구를 수행한다면 보다 세밀한 분석이 가능할 것으로 기대된다.

## Funding

This research was supported by "Weather and Earthquakes See-At Technology Development (KMIPA-2017-5020)" of Korea Meteorological Administration.

## ORCID

LEE, Jooyoung  <http://orcid.org/0000-0002-4691-3791>

YEO, Jiho  <http://orcid.org/0000-0001-6794-5584>

## References

- Andrey J., Mills B., Leahy M., Suggett J. (2003), Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities, *Natural Hazards*, 28(2-3), 319-343.
- Brijs T., Karlis D., Wets G. (2008), Studying the Effect of Weather Conditions on Daily Crash Counts using a Discrete Time-series Model, *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 1180-1190.
- Jeong E., Oh C., Hong S. (2013), Prediction of Speed by Rain Intensity using Road weather Information System and Vehicle Detection System Data, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 12(4), 44-55.
- Kilpeläinen M., Summala H. (2007), Effects of Weather and Weather Forecasts on Driver Behaviour, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(4), 288-299.
- Kohonen T. (1990), The Self-organizing Map, *Proceedings of the IEEE*, 78(9), 1464-1480.
- Kyte M., Khatib Z., Shannon P., Kitchener F. (2001), Effect of Weather on Free-flow Speed, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1776), 60-68.
- Lee J., Jang K. (2017), A Framework for Evaluating Aggressive Driving Behaviors Based on In-vehicle Driving Records, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*.
- Lee K., Jung I., Noh Y., Yoon S., Cho Y. (2015), The Effect of Road Weather Factors on Traffic Accident: Focused on Busan area, *Journal of the Korean Data And Information Science Society*, 26(3), 661-668.
- Lum H., Reagan J. A. (1995), Interactive Highway Safety Design Model: Accident Predictive Module, *Public Roads*, 58(3).
- Park H. M., Joo S. H., Oh C. (2014), Development of an Evaluation Index for Identifying Freeway Traffic Safety Based on Integrating RWIS and VDS Data, *J. Korean Soc. Transp.*, 32(5), Korean Society of Transportation, 441-451.
- Park J. T., Hong J. Y., Lee S. B. (2010), Development of Traffic Accident Safety Index under Different Weather Conditions, *J. Korean Soc. Transp.*, 28(1), Korean Society of Transportation, 157-163.
- Theofilatos A., Yannis G. (2014), A Review of the Effect of Traffic and Weather Characteristics on Road Safety, *Accident Analysis & Prevention*, 72, 244-256.
- Vesanto J. (1999), SOM-based Data Visualization Methods, *Intelligent data analysis*, 3(2), 111-126.