

고속도로 돌발상황 발생 영향 요인 연구

A Study of the Effect Factor of Unexpected Accidents on Expressways

김혜진* · 공용혁** · 최동준***

* 주저자 : 아주대학교 TOD기반 지속가능 도시교통연구센터 연구원

** 교신저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정

*** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 석사과정

Hey Jin Kim* · Young Hyuk Kong* · Dong Jun Choi*

* Dept. of Transportation, Univ. of Ajou

† Corresponding author : Young Hyuk Kong, dinohyuk@ajou.ac.kr

Vol. 22 No.2(2023)
April, 2023
pp.105~116

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.2.105>

Received 7 March 2023
Revised 31 March 2023
Accepted 5 April 2023

© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

2차 사고의 치사율은 일반 교통사고의 7배이며 고속도로에 한정하면, 사망자 4명 중 1명은 2차 사고로 인한 사망이라고 할 수 있다. 돌발상황은 2차 사고를 유발할 수 있으며 운전자에게 대비할 시간을 주지 않아 주행속도가 높은 고속도로에서의 사고 위험은 더욱 치명적이다. 그러나 기존 연구에서는 이미 교통사고에 관한 연구를 수행하거나 교통사고 후 발생하는 2차 사고에 관한 연구를 수행하고 있어서 그 외 도로에서 발생할 수 있는 다른 돌발상황에 대해 고려하지 못하고 있다. 따라서 2차 사고로 인한 피해와 사상자 감소를 위해서는 교통사고 외에도 사고 유발 가능성을 제거하여 안전한 도로환경을 만들 필요성이 존재한다. 본 연구에서는 돌발상황과 발생요일, 발생시간, 곡선반경이 돌발상황 발생과 연관성이 있는지에 대하여 분석하였다. 돌발상황은 천안논산고속도로와 서울양양고속도로에서 2022년 발생한 자료를 사용하였으며 고속도로의 구간을 분할하여 곡선반경을 계산하고 이를 군집분석을 통해 직선부, 완화곡선부, 곡선부로 구분하여 분석하였다. 분석결과 발생요일, 발생시간, 곡선반경이 돌발상황과 연관성이 있는 것으로 분석되었다.

핵심어 : 돌발상황, 돌발정보, GPS, 기하구조, 교통사고

ABSTRACT

The fatality rate of secondary accidents is seven times that of general traffic accidents. If limited to highways, one in four deaths are said to occur from secondary accidents. Unexpected situations which do not give drivers time to prepare are the cause of secondary accidents. This risk results in more fatalities on highways with high driving speeds. Existing studies have conducted research on traffic accidents and on secondary traffic accidents that occur after a primary traffic accident, without considering unexpected situations that may occur on the road. Therefore, to reduce damage and casualties caused by secondary accidents, there is a need to create a safe road environment by removing the possibility of causing accidents. This study analyzes whether the day of occurrence, time of occurrence, and radius of the curve of an unexpected situation are related to the occurrence of an unexpected situation. This study was based on data of accidents that occurred in 2022 on the Cheonan-Nonsan Expressway and the Seoul-Yangyang Expressway. The radius of the curve was calculated by dividing the section of the highway into straight, clothoid, and curved sections through cluster analysis. Results of the analysis indicate that the day and time of occurrence and the curve radius are associated with unexpected situations.

Key words : Unexpected accident, Unexpected information, GPS, Geometry, Traffic accident

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

국내의 교통사고 발생률은 선진국과 비교한다면 높다고 할 수 있다. OECD 선진국에 비교하면, 2015년 기준 10만명당 교통사고 사망자수는 한국은 9.31명인 것에 비해 영국은 2.8명, 독일은 4.3명, 일본은 3.8명이다. 이에 정부는 교통사고 사망자 감소 등을 위하여 국가교통안전기본계획(국토교통부 주관)을 5년마다 수립하여 추진 중이다. 정부는 2022년 수립한 9차 기본계획의 목표에 교통사고 사망자수를 2027년까지 50% 감축을 목표로 설정하였다. 교통사고 사망자 수에 관련하여 국내 최근 통계를 보면 2017년 4,065명, 2018년 3,657명, 2019년 3,233명, 2020년 3,081명, 2021년 2,919명으로 지속하여 감소 중이다. 따라서 정부가 수립하여 추진해 온 안전대책이 어느정도 성과가 있는 것으로 판단된다. 그러나, 최근 보도자료에 따르면, 2021년 기준 2차 사고의 치사율은 일반 교통사고의 7배이며 고속도로에 한정하면, 사망자 4명 중 1명은 2차 사고로 인한 사망이라고 할 수 있다. 고속도로는 주행속도가 높아 교통사고 발생 시, 피해 규모가 일반도로에 비교하여 상대적으로 심각하며, 2차 사고의 경우 선행 사고로 인한 피해에 추가적으로 발생한 추돌이나 충돌로 인한 피해가 중첩되어 그 피해 규모는 더 심각해진다. 따라서 2차 교통사고로 인한 피해와 사상자를 감소하기 위해서는 고속도로에서 발생하는 교통사고를 신속히 탐지하여 골든타임 내 사고를 처리하는 것이 필요하며, 더 나아가 사고발생 가능성을 제거하는 시도 또한 필요하다고 할 수 있다.

일반적으로 교통사고는 인적요인, 환경요인, 차량요인에 의하거나 해당 요인들의 복합적인 작용으로 발생하며, 환경요인은 사회환경요인, 자연 및 도로의 기하구조 요인으로 구분가능하다. 환경 요인 중 도로 위에서 발생하는 다양한 돌발상황은 사고를 유발할 가능성이 높으며 2차 사고를 유발할 가능성 또한 높다. 일반적으로 돌발상황은 교통사고, 고장차량, 낙하물, 도로시설물 파손, 위험물질 유출, 동물 출현 등 교통소통과 안전에 영향을 주는 제반사항을 의미한다(Kong et al., 2021). 이러한 돌발상황은 운전자에게 대비할 시간을 주지 않으며 주행속도가 높은 고속도로에서는 더욱 치명적인 위협이라 할 수 있다. 또한, 환경 요인 중 도로 구조의 경우 교통사고에 미치는 영향은 인적요인만큼 중요하다고 할 수 있다. 불합리한 도로 구조는 운전자에게 과도한 집중력을 요구하여 피로를 야기하며 이는 사고로 이어질 가능성이 높으며, 운전자에게 충분한 시야를 확보해주지 못하여 돌발상황을 야기할 수 있기 때문이다. 따라서 도로의 구조는 운전자가 보통의 집중도와 긴장감을 가지고 운전을 하도록 설계되어야 한다. 우리나라에서는 도로의 기하구조에 관해서는 국토교통부에서 발간하는 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침에 의거하여 도로를 설계한다. 그러나 해당 규정은 운전자에게 편안한 주행 환경을 제공하거나 돌발상황 발생 시 운전자가 인지하고 제동을 할 충분한 판단 시간을 제공한다고 할 수 없다. 그러므로 운전자의 안전과 2차 사고 예방을 위해서는 운전자가 정차, 역주행, 급정거 등과 같은 돌발상황이 빈번하게 발생한 기하구조의 정확한 규명과 이해가 필요하며, 이는 2차 사고의 발생을 줄이는 길이다.

본 연구는 지금까지 연구된 고속도로 사고에 영향을 미치는 중단경사, 곡선반경, 차로폭 등의 요소 중 돌발상황과 곡선반경, 시간과의 연관성을 분석한다. 따라서 이 연구의 목적은 고속도로에서 발생하는 돌발상황과 기하구조 자료와 시간을 기반으로 첫째, 도로의 기하구조가 돌발상황 발생 시 운전자에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 파악한다. 둘째, 돌발상황의 발생이 자주 일어나는 시간에 대하여 파악한다. 셋째, 도출된 결과가 2차 사고를 예방하기 위한 대책을 수립하는데 도움을 줄 수 있는지에 대한 시사점을 제공하고자 한다.

2. 연구방법 및 범위

본 연구는 한국도로공사의 사고포착알리미를 통해 수집된 데이터를 이용하여 분석을 진행한다. 사고포착 알리미는 차량 개별의 GPS를 통해 돌발상황(정차, 급정거, 역주행, 전면차단, 저속주행, 터널돌발)을 수집하여 신속하게 돌발상황을 대처할 수 있는 시스템으로 정검지율 97.7%의 검지율을 보인다.

본 연구의 시간적 범위는 2022년 1월부터 12월로 설정하였으며, 공간적 범위는 서울-양양고속도로와 천안-논산고속도로로 설정하였다. 구체적으로는 서울-양양고속도로와 천안-논산고속도로를 도로의 각이 바뀌는 지점을 노드로 설정하여 해당 구간의 곡선반경을 구하였다.

이후 구간의 곡선반경을 대상으로 K-mean 군집분석을 진행하였으며 직선부, 완화곡선부와 곡선부로 구분하였다. 이후 해당 군집과 돌발상황 739건의 연관성에 대해 카이제곱(chi-square) 통계분석을 진행하였다. 이를 위하여 통계분석도구로 SPSS를 사용하였다.

II. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 이론적 고찰

1) 돌발상황에 관련한 이론적 고찰

일반적으로 돌발상황은 교통사고, 고장차량, 낙하물, 도로시설물 파손, 위험물질 유출, 동물 출현 등 교통소통과 안전에 영향을 주는 제반사항을 의미한다(Kong et al., 2021). 이 외 돌발상황에 대해 서술한 연구는 돌발상황이란 도로상에서 불규칙하게 일어나는 사건으로 정의(Kwon, 2019)하였으며 또 다른 연구에서는 돌발상황을 반복적인 혼잡과 비반복적인 돌발상황으로 구분하였다(Kim, 2006). 국내 연구 뿐만 아니라 국외 연구에서 또한 돌발상황을 비반복적인 혼잡으로 정의하였다(Jin et al., 2001; Chakraborty et al., 2019). 이에 따라 돌발상황은 여러 요인에 있어 소통과 안전에 영향을 주는 비반복적인 혼잡으로 정의 가능하다. 본 논문에서는 해당 돌발상황을 정차, 급정거, 역주행, 전면차단, 저속주행, 터널돌발로 구분하였으며 각 유형의 정의는 다음과 같다(Kong et al., 2021). 먼저 정차는 고속도로 본선에서 1분 이상 정차하고 있는 차량을 의미하며 급정거의 경우 고속도로를 50km/h 이상 주행하던 차량이 1초 이내 20km/h를 감소하는 경우이다. 역주행의 경우 고속도로 진입 후 다른 차량과의 진행방향이 반대인 경우를 의미하며 전면차단은 사전에 공지되거나 계획된 차단이 아닌 갑작스러운 차단이 발생하여 다수의 차량에서 정차, 급정거, 역주행 등의 비정상적인 교통패턴을 보이는 경우를 의미한다. 저속 주행의 경우 해당 노선의 평균 주행속도보다 현저하게 낮은 속도로 주행하는 경우를 의미하고, 터널 돌발의 경우 차량이 터널에 진입하였으나 진출을 하지 않은 경우나 터널을 통과해야 하는 일정 시간을 경과하였을 시 터널 돌발로 감지한다. 따라서 본 연구는 고속도로 사고포착알리미를 통해 수집된 6가지의 돌발상황 유형으로 분석을 진행한다.

2) 군집분석

군집분석(Cluster Analysis)은 N개의 개체를 주어진 변수의 특성들에 대한 유사성을 바탕으로 상이한 특성을 가진 K개의 그룹으로 묶어 군집으로 정의하고, 군집의 대표적 특성을 찾아 분석하는 기법이다. 대상을 군집하는 방법으로는 계층적 군집분석과 비계층적 군집분석이 존재한다. 계층적 군집분석은 여러개의 군집 중 가장 유사도가 높거나 거리가 가까운 군집 두 개를 선택하여 하나씩 합치면서 군집의 개수를 줄여나가는 방

법이다. 비계층적 군집분석은 군집의 수를 결정한 후 설정된 군집에서 가까운 개체를 순서대로 결합하여 군집을 형성하는 기법이다. 비계층적 군집은 계층적 군집방법보다 집화속도가 빨라 군집화 대상이 다수인 경우 신속하게 처리할 수 있는 방법이다. 비계층적 군집분석으로 많이 쓰이는 방식은 k-평균 군집알고리즘으로 미리 군집의 수를 정한 뒤 군집의 중심을 기준으로 알고리즘이 수행된다. 알고리즘은 한 번의 군집이 결합될 때마다 각 군집별로 그 군집의 평균을 중심으로 군집 내 관측 대상들간의 유클리디안 거리의 합을 구한다.

<유클리디안 거리계산>

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^p (x_i - x_j)^2} \dots\dots\dots (1)$$

*i,j는 변수의 관측값

이 값을 군집화 과정에서 발생하는 오류라고 하는데 k-평균 군집 알고리즘은 군집화 단계에서 발생하는 오류를 최소화하는 방향으로 군집을 진행하며 이 오류가 최소화가 되는 단계에서 군집을 종료한다는 특징을 가지고 있다(No, 2011). 본 연구는 곡선반경을 이용하여 군집분석을 진행하였다.

3) 카이제곱검정(Chi-square test)

카이제곱검정(Chi-square test)은 가설검정방법이라고 할 수 있다. 이는 종속변수, 독립변수 두 개의 변수가 질적인 명목척도일 때 변수 간 빈도 비교를 통해 연관성을 파악하기 위하여 사용하는 분석기법이다. 카이제곱검정은 측정 변수가 한 개이면 카이제곱 적합도 검정을 사용하며, 측정변수가 두 개이면 카이제곱 독립성 검정을 사용한다. 본 논문에 사용된 데이터는 종속변수와 독립변수가 모두 명목척도이고, 종속변수와 독립변수의 연관성을 증명하기 위하여 카이제곱검정을 사용한다.

2. 선행연구 고찰

Kong et al.(2021)은 GPS 정보를 이용하여 돌발상황을 탐지하기 위하여 돌발상황 검지 알고리즘을 제시, 시스템을 구성하고 테스트베드를 운영하여 검증과 실증에 활용할 수 있는 방안을 제시하였다. 돌발상황을 검지하기 위하여 돌발상황의 유형을 정차, 급정거, 역주행, 전면차단, 저속주행, 터널돌발 6가지로 구분하였으며, 각 유형의 탐지 알고리즘을 제시하였다. 이후 테스트베드를 통한 테스트 결과 급정거(96%), 정차(100%), 역주행(100%), 저속주행(100%), 터널돌발(96%), 전면차단(94%)의 검지율을 나타냈으며 전체적으로는 97.7%의 검지율을 보였다.

Choi et al.(2012)은 연속류 돌발상황 검지 알고리즘을 검지기 자료를 이용하여 개발하였다. 이 연구에서는 고속도로 도시부와 지방부에서 수집된 30초 기반 원시자료를 활용하여 알고리즘을 제시하였다. 결과적으로 다른 알고리즘에 비하여 높은 검지율, 낮은 오보율, 빠른 검지시간, 높은 지속검지율을 보이는 알고리즘을 도출하였다.

Kang et al.(2002)는 고속도로 곡선구간에서의 사고예측모형을 개발하였다. 호남고속도로의 5개년 사고자료(1996년~2000년)를 이용하였으며 기하구조와 사고의 관계성을 보다 명확히 제시하기 위하여 평면 선형상의 곡선구간에 연구의 초점을 두었다. 또한, 피주시거를 기준으로 곡선구간을 단일곡선구간, 배향곡선구간으로 구분하여 사고분석을 진행하였다. 결과적으로 배향곡선의 사고율이 단일곡선구간에 비하여 높았으며, 단일곡선구간, 배향곡선구간 각각의 사고예측모형을 개발하여 제시하였다.

FHWA(2000)은 사고분석 요소에 있어 기하구조 변수를 제시하였다. 기하구조 변수 중 차로폭, 곡선반경, 중앙분리대의 유·무, 편향각 등을 고려하여 사고와의 관계를 제시하였다. 연구결과 차로폭이 넓을수록 사고는 감소하는 것으로 분석되었다.

Ciro et al.(2007)은 사고분석 모형을 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 이용하여 개발하였다. 그 결과 접속도로의 유무와 구간길이, 곡선반경, AADT, 종단구배가 사고에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Kang and Lee(2002)는 호남고속도로를 대상으로 고속도로 선형조건별 교통사고 위험도 평가모형을 개발하였다. 따라서 호남고속도로를 직선부, 곡선부, 완화곡선부 등으로 1차 구분한 뒤 해당 구간의 선형요소인 길이, 반경, 종단경사, 편경사 등의 기본 기하구조를 입력한 뒤 5개년 교통사고 자료를 이용해 분석하였다. 결과적으로 직선부, 곡선부, 완화곡선부의 사고 예측 모형을 제시하였다.

Kim(2012)은 2차 교통사고에 미치는 영향요인을 분석하였다. 따라서 고속도로에서 발생한 교통사고 자료를 수집하여 1차 교통사고의 특성 및 2차 교통사고의 특성을 분석하였으며 그 결과 고속도로 2차 교통사고는 차대 사람의 사고가 가장 큰 심각성을 보인다는 결과를 도출하였으며, 1차 교통사고에 비하여 야간에 사고가 빈번히 발생한다는 결과를 도출하였다. 또한 사고유형과 사고원인, 시간대, 노면상태, 차량 피해 정도가 2차 교통사고 중 사망사고와 상관관계가 있다는 결론을 도출하였으며 이를 통해 2차 교통사고 개선방안을 제시하였다.

3. 본 연구의 차별성

기존 선행연구에서는 교통사고와 기하구조의 연관성이 분석되어 있으나 교통사고 단독만 분석이 이루어졌다. 이는 교통사고가 유발될 수 있는 1차적인 원인에 대한 분석이 부재되었다고 할 수 있다. 그러므로 고속도로에서 발생하는 돌발상황 중 현재는 교통사고 외 다른 유형의 돌발상황에 대해 분석이 미흡하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 기존의 연구와는 달리 교통사고 외 고속도로에서 발생하는 돌발상황에 대해 도로의 기하구조 및 시간에 대한 연관성 분석으로 이에 대한 연관성을 제시하는 것에 차별성이 있다. 본 연구에서는 도로의 곡선반경, 발생시간과 돌발상황의 연관성을 카이제곱(chi-square) 통계분석을 실시하여 살펴본다.

Ⅲ. 데이터 전처리 및 데이터 검토

1. 데이터 전처리

서울양양고속도로와 천안논산고속도로에서 수집된 돌발상황 1년치 739건의 자료를 이용하여 돌발상황과 연관성이 있는 요소를 분석하였다. 분석을 진행하기 전 서울양양고속도로와 천안논산고속도로의 구간별 곡선반경을 산출하였다. 곡선반경을 구하기 위해서는 두 점 사이의 각도(라디안 단위)와 거리(distance)가 필요하다. 곡선반경을 구하기 위해 QGIS를 활용하였으며, 두 점 사이의 거리는 표준노드링크에서 제공하는 링크 거리(m)를 사용하였고, 두 점 사이의 각도(°)의 경우 QGIS Tool을 통해 도출된 값을 사용하였다. 자세한 산출 과정은 다음과 같다.

먼저 국토교통부에서 제공하는 표준노드링크를 사용하여 서울양양고속도로, 천안논산고속도로의 링크데이터를 추출한다. 각 링크의 시작점과 끝점에 'Extract specific vertex'를 이용하여 포인트 생성 후 두 점 사이의 거리가 0인 링크가 끝나고 시작되는 지점에 생성되는 중복 포인트를 제거한다. 포인트와 함께 생성되는

각도(°)와 링크 거리(m)를 이용하여 곡률을 계산한다. 아래 식에서 R은 라디안 단위로 도(°)에서 라디안으로의 변환이 필요하다.

<곡률 계산>

$$Curvature = \frac{2\sin(R/2)}{distance} \dots\dots\dots (1)$$

<라디안 변환>

$$Radian = \frac{각도 \times \pi}{180} \dots\dots\dots (2)$$

곡선반경은 곡률의 역수임을 이용하여 곡선반경을 산출한다.

<곡률-곡선반경 관계>

$$Curvedradius = \frac{1}{Curvature} \dots\dots\dots (3)$$

산출결과는 다음 <Table 1>과 같으며 총 739개의 데이터 중 7개만 나타낸 것이다.

<Table 1> Result of curved radius calculation

Road Name	Distance(m)	Curved radius(m)
Nonsan Cheonan Expressway	676.7842	338.3976
Seoul-Yangyang Expressway	397.3916	238.419
Seoul-Yangyang Expressway	6076.245	5052.855
Seoul-Yangyang Expressway	1904.886	3009.547
Nonsan Cheonan Expressway	3316.76	17391.61
Nonsan Cheonan Expressway	307.2795	1645.603
Nonsan Cheonan Expressway	6629.562	3330.014

Road Name은 각 고속도로의 명칭을 뜻하며 Distance는 구간의 길이, Curved radius는 곡선반경을 의미한다. 산출된 데이터는 곡선반경을 기준으로 K-mean 군집분석을 이용하여 군집분석을 진행하였다. 본 군집분석의 군집 수는 Kang and Lee(2002)와 Kang et al.(2002)의 논문에서 나온 결과값을 기반으로 3개로 설정하여 군집을 형성하였다. 군집분석 결과는 아래 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Result of k-mean cluster analysis

Road Name	Distance(m)	Curved radius(m)	Cluster
Nonsan Cheonan Expressway	676.7842	338.3976	1
Seoul-Yangyang Expressway	397.3916	238.419	1
Seoul-Yangyang Expressway	6076.245	5052.855	2
Seoul-Yangyang Expressway	1904.886	3009.547	2
Nonsan Cheonan Expressway	3316.76	17391.61	2
Nonsan Cheonan Expressway	307.2795	356.210	0
Nonsan Cheonan Expressway	6629.562	3330.014	2

분석 결과 군집은 Kang and Lee(2002)와 Kang et al.(2002)의 논문과 마찬가지로 3가지로 분류되었으며 곡선반경을 고려하여 직선부, 완화곡선부, 곡선부로 명명하였다. 직선부의 경우 평면선형 기준 직선인 구간으로 이루어진 군집이다. 완화곡선부는 곡선부에 비하여 곡선반경이 작아 상대적으로 곡선이 완만하여 완화곡선부로 명명하였다. 곡선부의 경우 곡선 반경이 커 완화 곡선부에 비해 상대적으로 곡선이 두드러지게 나타나는 구간으로 곡선부로 명명하였다. 각 군집의 최소, 최대, 평균과 표준편차 값은 다음 <Table 3>와 같다.

<Table 3> Statistics of k-mean cluster analysis

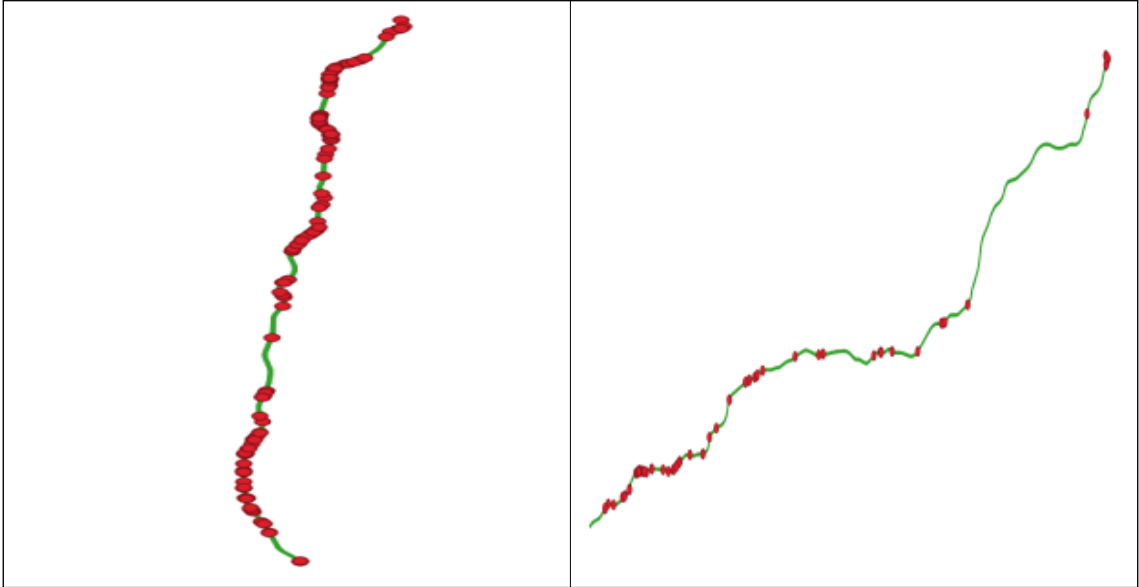
Type	N	Min	Max	Average	Standard deviation	
Cluster	Straight(0)	84	0m	964m	356m	328m
	Clothoid(1)	299	1,010m	2,173m	2,057m	163m
	Curved(2)	356	2,228m	491,400m	17,336m	49,221m
Total	739	-				

본 연구에서 사용되는 데이터의 돌발상황은 6가지로 구분가능하다. 연구에서 사용된 데이터는 고속도로 사고포착알리미를 통해 수집된 데이터이며 각 6가지의 유형인 정차, 급정거, 역주행, 저속주행, 전면차단, 터널돌발로 구분가능하다. 각 유형별 돌발상황 판단 기준은 다음과 같다. 정차는 고속도로 본선에서 1분 이상 정차하고 있는 차량을 의미하며 급정거의 경우 고속도로를 50km/h 이상 주행하던 차량이 1초 이내 20km/h를 감소하는 경우이다. 역주행의 경우 고속도로 진입 후 다른 차량과의 진행방향이 반대인 경우를 의미하며 전면차단은 사전에 공지되거나 계획된 차단이 아닌 갑작스러운 차단이 발생하여 다수의 차량에서 정차, 급정거, 역주행 등의 비정상적인 교통패턴을 보이는 경우를 의미한다. 저속 주행의 경우 해당 노선의 평균 주행 속도보다 현저하게 낮은 속도로 주행하는 경우를 의미하고, 터널 돌발의 경우 차량이 터널에 진입하였으나 진출을 하지 않거나 터널을 통과해야하는 일정 시간을 경과하였을 시 터널 돌발로 감지한다.

따라서, 사고포착알리미를 통해 수집된 돌발상황 데이터와 곡선반경을 구한 구간을 매칭하였으며 매칭 결과는 <Table 4>, <Fig. 1>, <Fig. 2>와 같다.

<Table 4> Result of k-mean cluster analysis

Road Name	Unexpected Accidents Type	Unexpected Accidents Time	Cluster
Nonsan Cheonan Expressway	stop	2022-05-06 0:00	1
Seoul-Yangyang Expressway	wrong way	2022-04-10 10:37	1
Seoul-Yangyang Expressway	sudden stop	2022-07-09 20:08	2
Seoul-Yangyang Expressway	tunnel	2022-02-11 7:30	2
Nonsan Cheonan Expressway	drive of low speed	2022-11-26 9:26	2
Nonsan Cheonan Expressway	drive of low speed	2022-11-26 9:28	0
Nonsan Cheonan Expressway	block off wrong way	2022-01-28 9:44	2



<Fig. 1> Qgis Matching Result - Nonsa Cheonan Highway

<Fig. 2> Qgis Matching Result - Seoul Yangyang Highway

이후 매칭한 결과 중 발생시간을 평일과 주말로 구분하였으며, 발생시간 또한 주간(06시~18시), 야간(18시~05시)로 구분하였다.

<Table 5> Result of k-mean cluster analysis

Road Name	Unexpected Accidents Type	Unexpected Accidents Day	Unexpected Accidents Time	Cluster
Nonsan Cheonan Expressway	stop	weekday	night	1
Seoul-Yangyang Expressway	wrong way	weekend	day	1
Seoul-Yangyang Expressway	sudden stop	weekend	night	2
Seoul-Yangyang Expressway	tunnel	weekday	day	2
Nonsan Cheonan Expressway	drive of low speed	weekend	day	2
Nonsan Cheonan Expressway	drive of low speed	weekend	day	0
Nonsan Cheonan Expressway	block off wrong way	weekday	day	2

IV. 데이터 분석

위와 같이 매칭된 데이터 739건을 돌발상황이 발생한 위치의 곡선반경, 발생시간(주간, 야간)과 발생요일(평일, 주말)로 구분하고 이를 카이제곱분석을 이용하여 돌발상황 발생과 영향이 있는지 분석하였다.

1. 돌발상황과 요일의 연관성

서울양양고속도로와 천안논산고속도로에서 수집된 돌발상황 1년치 739건의 자료를 이용하여 돌발상황과

요일의 연관성을 분석하였다. 다음 아래 <Table 6>는 돌발상황과의 요일의 연관성을 나타낸 분석결과이다. 요일의 구분은 평일과 주중으로 진행하였다.

<Table 6> Cross table between the case of unexpected accident and the day

Type		Day		Total	χ^2/p
		Weekday	Weekend		
Unexpected accidents	Stop	463(64.9%)	250(35.1%)	713	10.191/0.070*
	Sudden stop	2(50.0%)	2(50.0%)	4	
	Wrong way	3(42.9%)	4(57.1%)	7	
	Block off wrong way	1(100.0%)	0(0.0%)	1	
	Drive of low speed	1(25.0%)	3(75.0%)	4	
	Tunnel	3(30.0%)	7(70.0%)	10	
Total		473(64.0%)	266(36.0%)	739(100.0%)	

p>0.1* p>0.05** p>0.01***

<Table 6>에서 보는 바와 같이 돌발상황 중 정차의 경우 주말에 비해 평일에 상대적으로 많이 발생하였다. 그러나 급정거와 역주행의 경우 평일과 주말이 비슷한 비율로 발생하였으며, 전면차단의 경우 평일에 발생하였다. 저속주행의 경우 평일보다 주말에 더 많이 발생하였으며 터널 내부에서는 평일보다 주말에 상대적으로 더 많이 돌발상황이 발생하였음을 파악가능하다. 또한, 해당 검증의 유의수준은 0.1에서 유의하다고 할 수 있다. 이는 평일과 주말에 따라 발생하는 돌발상황은 관계가 있다는 사실을 의미한다.

2. 돌발상황과 시간의 연관성

서울양양고속도로 및 천안논산고속도로에서 수집된 돌발상황 739건의 자료를 이용하여 돌발상황과 발생 시간과의 연관성을 분석하였다. 다음 아래 <Table 7>는 돌발상황과의 시간의 연관성을 나타낸 분석결과이다. 발생시간은 주간(06시~18시), 야간(18시~05시)로 구분하였다.

<Table 7> Cross table between the case of unexpected accident and the time

Type		Time		Total	χ^2/p
		Day	Night		
Unexpected accidents	Stop	502(70.4%)	211(29.6%)	713	14.040/0.015**
	Sudden stop	0(0.0%)	4(100.0%)	4	
	Wrong way	4(57.1%)	3(42.9%)	7	
	Block off wrong way	1(100.0%)	0(0.0%)	1	
	Drive of low speed	4(100.0%)	0(0.0%)	4	
	Tunnel	9(90.0%)	1(10.0%)	10	
Total		520(70.4%)	219(29.6%)	739(100.0%)	

p>0.1* p>0.05** p>0.01***

<Table 7>에서 보는 바와 같이 돌발상황 중 정차의 경우 주간이 야간에 비하여 상대적으로 많이 발생하였

다. 급정거의 경우 주간에는 한 건도 발생하지 않은 것에 비하여 야간에 4건 모두 발생하였다. 역주행은 주간과 야간이 유사하게 발생하였으며 전면차단과 저속주행이 발생하였을 때는 모두 주간에 발생하였다. 터널 돌발의 경우 90%가 주간에 발생하였다. 돌발상황과 시간의 연관성 분석은 유의수준 0.05에서 유의하다고 할 수 있다. 이는 시간에 따라 발생하는 돌발상황이 차이가 존재한다는 것을 의미한다.

3. 돌발상황과 곡선반경의 연관성

서울양양고속도로 및 천안논산고속도로에서 수집된 돌발상황 739건의 자료를 이용하여 돌발상황과 곡선반경과의 연관성을 분석하였다. 다음 아래 <Table 8>는 돌발상황과의 곡선반경과의 연관성을 나타낸 것이며 곡선반경은 직선부, 완화곡선부, 곡선부로 구분하였다.

<Table 8> Cross table between the case of unexpected accident and the time

Type		Time			Total	χ^2/p
		Straight	Clothoid	Curved		
Unexpected accidents	Stop	75(10.5%)	293(41.1%)	345(48.4%)	713	50.665/0.0001***
	Sudden stop	0(0.0%)	0(0.0%)	4(100.0%)	4	
	Wrong way	6(85.7%)	0(0.0%)	1(14.3%)	7	
	Block off wrong way	0(0.0%)	0(0.0%)	1(100.0%)	1	
	Drive of low speed	0(0.0%)	1(25.0%)	3(75.0%)	4	
	Tunnel	3(30.0%)	5(50.0%)	2(20.0%)	10	
Total		84(11.4%)	299(40.5%)	356(48.6%)	739(100.0%)	

p>0.1 * p>0.05** p>0.01***

<Table 8>에서 보는 바와 같이 돌발상황 중 정차는 직선부, 완화곡선부, 곡선부 중 직선부에 비하여 완화곡선부와 곡선부에서 다수 발생하였으며, 급정거의 경우 곡선부에서 4건 모두 발생하였다. 역주행은 85.7%가 직선부에서 발생하였으며 전면차단과 저속주행은 각각 100%, 75%가 곡선부에서 발생하였다. 터널 돌발은 완화곡선부에서 50%가 발생하였다. 돌발상황과 곡선반경의 연관성 분석은 유의수준 0.01에서 유의하다고 할 수 있다. 이는 곡선반경에 따라 발생하는 돌발상황이 차이가 존재한다는 것을 의미한다.

V. 결 론

본 연구에서는 도로 위의 비반복적 혼잡을 야기하며, 2차 사고의 위험성도 높이는 돌발상황이 기하구조와 시간대에 따라 돌발상황 발생과 연관성이 존재하는지에 대해 분석하였다. 실제 GPS를 통해 수집된 6가지 유형의 돌발상황(정차, 급정거, 역주행, 전면차단, 저속주행, 터널돌발) 739건을 대상으로 분석을 진행하였다. 해당 데이터는 2022년 1년간 천안논산고속도로와 서울양양고속도로에서 수집된 데이터이다. 분석과정에서는 곡선반경을 K-mean 군집분석을 통해 3가지 군집으로 분석하였고 이를 특성에 따라 직선부, 완화곡선부, 곡선부로 분류하였다. 또한, 요일과 시간을 평일과 주말, 주간과 야간으로 구분하여 분석을 진행하였다. 변수들과 돌발상황과의 연관성을 살펴보기 위하여 카이제곱검증을 이용하였으며 도출된 결과는 다음 아래와 같다.

분석결과, 돌발상황 발생과 요일(평일, 주말)은 유의수준 0.1에서 연관성이 있으며 발생시간(주간, 야간)과 곡선반경은 유의수준 0.05에서 돌발상황 발생과 연관성이 있다. 요일의 경우 돌발상황 중 정차가 주말에 비해 평일에 상대적으로 많이 발생하였고 급정거와 역주행은 평일과 주말이 비슷한 비율로 발생하였으며, 전면차단의 경우 평일에 발생하였다. 저속주행의 경우 평일보다 주말에 더 많이 발생하였으며 터널 내부에서는 평일보다 주말에 상대적으로 더 많이 돌발상황이 발생하였다. 발생시간에 따른 돌발상황은 정차는 주간이 야간에 비하여 상대적으로 많이 발생하였다. 급정거는 주간에는 한 건도 발생하지 않은 것에 비하여 야간에 4건 모두 발생하였다. 역주행은 주간과 야간이 유사하게 발생하였으며 전면차단과 저속주행이 발생하였을 때는 모두 주간에 발생하였다. 터널 돌발의 경우 90%가 주간에 발생하였다. 곡선반경에 따른 돌발상황은 정차가 직선부, 완화곡선부, 곡선부 중 직선부에 비하여 완화곡선부와 곡선부에서 다수 발생하였으며, 급정거의 경우 곡선부에서 4건 모두 발생하였다. 역주행은 85.7%가 직선부에서 발생하였으며 전면차단과 저속주행은 각각 100%, 75%가 곡선부에서 발생하였다. 터널 돌발은 완화곡선부에서 50%가 발생하였다.

분석결과에 따라 도출한 결과는 다음과 같다. 돌발상황의 발생은 발생요일, 발생시간, 곡선반경과 연관성이 있다. 이 중 급정거의 경우 100%가 야간시간대에 발생하였으며, 곡선부에서 발생하였다. 이는 야간에 곡선부에서의 운전자의 시야확보가 명확히 이루어지지 않았다고 추측 가능하다. 또한, 정차의 경우 완화곡선부, 곡선부에서 약 90%의 확률로 발생하였으며, 저속주행은 100% 발생하였다. 다만 정차, 저속주행 모두 주간에 다수 발생한 것으로 보아 완화곡선부, 곡선부에서 회전 반경을 고려한 운전자의 속력 감소 등의 사유로 정차 또는 서행이 이루어진 것으로 추측된다. 터널 돌발의 경우 낮에 주로 발생하며 이는 조명도의 차이로 인해 운전자가 터널 내부 접근 시 시야가 어두워져 이에 적응하고 사고의 위험을 감소하기 위해 속력을 줄여 발생한 돌발상황으로 추측된다. 따라서 위의 사항을 고려하여 곡선부 및 완화곡선부에 돌발상황을 감소시키기 위하여 안전시설물의 설치가 필요할 것으로 사료된다.

다만, 본 연구의 경우 서울양양고속도로와 천안논산고속도로를 대상으로 진행한 연구로써 국내 고속도로에 해당 사항을 적용하여 일반화 하기에는 한계가 존재할 것으로 판단된다. 또한, 739건의 돌발상황 중 정차가 713건, 급정거 4건, 역주행 7건, 전면차단 1건, 저속주행 4건, 터널돌발 10건으로 표본수를 증가시켜 분석해야할 필요가 있다. 그리고 분석 변수 또한 발생요일, 발생시간, 곡선반경 뿐만 아니라 차로수, 노면상태, 종단경사, 편경사, 연평균 일 교통량 등의 다양한 변수를 이용하여 추가적인 영향요인에 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 본 연구에서는 데이터의 표본수의 한계로 인하여 카이제곱 분석만을 진행하였으나 이로 인해 유의성 검정의 왜곡이 발생할 가능성이 높아 이에 한계점이 존재한다. 따라서, 추후 표본수를 증가하고, 전체 고속도로를 대상으로 분석이 필요할 것으로 판단되며 카이제곱 외 다른 분석 모형의 적용 또한 필요하다. 추가적으로 교통사고 뿐만 아니라 교통사고를 유발할 수 있는 돌발상황 또한 예측하고 안전시설물을 개선할 수 있는 연구가 지속적으로 필요하다고 판단된다.

REFERENCES

- Chakraborty, P., Hegde, C. and Sharma, A.(2019), “Data-driven Parallelizable Traffic Incident Detection Using Spation-temporally Denoised Robust Thresholds”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 105, pp.81-99.
- Choi, J. T., Shin, C. H. and Kang, S. M.(2012), “Development of an AIDA(Automatic Incident Detection Algorithm) for Uninterrupted Flow By Diminishing the Random Noise Effect of

- Traffic Detector Variables”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 2, pp.29-38.
- Ciro, C., Maurizio, G. and Alessandra, P.(2007), “A Crash-Prediction Model for Multi-Lane Roads”, *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39, pp.657-670.
- Federal Highway Administration(FHWA)(2000), *Speed Prediction for Two Lane Rural Highways*, pp.99-171.
- Jin, X., Cheu, R. and Srinivasan, D.(2001), “Development and Adaptation of Constructive Probabilistic Neural Network in Freeway Incident Detection”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 10, no. 5, pp.1173-1187.
- Kang, J. G. and Lee, S. K.(2002), “Traffic Accident Prediction Model by Freeway Geometric Types”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 20, no. 4, pp.163-175.
- Kang, M. W., Son, B. S., Dho, C. U. and Kang, J. S.(2002), “Development of Accident Prediction Models at Freeway Curve Section Based on Geometric Characteristics”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, vol. 22, no. 6D, pp.1077-1088.
- Kim, D. K.(2012), *Analysis of The Factors Effecting of Secondary-Accident in Highways*, The University of Seoul Master Degree Research, pp.1-97.
- Kim, S.(2006), “A Study on the Classification of Traffic Flow Areas for Detecting Sudden Situations”, *The Korea Society of Transportation*, vol. 24, no. 3, pp.39-50.
- Kong, Y. H., Kim, H. J., Yi, Y. J. and Kang, S. J.(2021), “Development of Incident Detection Algorithm using GPS Data”, *The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 4, pp.771-782.
- Kwon, C.(2019), *Development of Automatic Incident Detection Model for Highway Using Machine Learning*, Ajou University Master Degree Research, pp.5-7.
- No, H. J.(2011), *Statistical Package for the Social Sciences*, Hakhyunsa, p.483.