

고속도로 교통사고 시 돌발상황 지속시간 영향 요인 분석

A Study on the Influencing Factors for Incident Duration Time by Expressway Accident

이 기 영 Lee, Ki Young
서 임 기 Seo, Im Ki
박 민 수 Park, Min Soo
장 명 순 Chang, Myung Soon

정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (E-mail : kylee@ex.co.kr)
정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 박사후연수자 · 교신저자 (E-mail : seoimki79@hanmail.net)
정회원 · 한국종합기술 도로공항부 전무 (E-mail : pms21@kecc.co.kr)
정회원 · 한양대학교 교통물류공학과 교수 (E-mail : hytran@hitel.net)

ABSTRACT

The term "incident duration time" is defined as the time from the occurrence of incident to the completion of the handling process. Reductions in incident durations minimize damages by traffic accidents. This study aims to develop models to identify factors that influence incident duration by investigating traffic accidents on highways. For this purpose, four models were established including an integrated model (Model 1) incorporating all accident data and detailed models (Model 2, 3 and 4) analyzing accidents by location such as basic section, bridges and tunnels. The result suggested that the location of incident influences incident duration and the time of arrival of accident treatment vehicles is the most sensitive factor. Also, significant implications were identified with regard to vehicle to vehicle accidents and accidents by trucks, in night or in weekends. It is expected that the result of this study can be used as important information to develop future policies to manage traffic accidents.

KEYWORDS

incident duration time, arrival time, accident detection, delayed traffic, prediction model, tunnel, bridge

요지

교통사고 발생시점부터 사고처리가 완료된 시점까지를 돌발상황 지속시간(Incident Duration Time)이라고 정의하는데, 이를 단축시켜야만 교통사고 피해를 최소화할 수 있다. 본 연구는 고속도로 교통사고를 대상으로 돌발상황 지속시간에 영향을 주는 요인들을 찾아내기 위한 모형을 개발하였다. 모형은 모든 사고자료에 포함된 통합 모형(모형1)과 일반구간, 교량, 터널 등 교통사고 장소별로 구분하여 분석한 세부 모형(모형 2, 3, 4) 등 모두 4개의 모형을 구축하였다. 분석 결과, 교통사고가 발생한 장소에 따라 돌발상황 지속시간에 다른 영향을 주는 것으로 나타났으며, 현장 처리를 위한 작업차량 도착시간이 가장 민감한 요인으로 분석되었다. 또한 차-차 사고, 화물차에 의한 사고, 야간 사고, 주말 사고 등의 시사점 있는 요인들을 찾아냈다. 이러한 연구결과는 향후 교통사고 관리대책을 수립하는 데 있어 중요한 판단지표로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어

돌발상황 지속시간, 현장 도착시간, 사고 검지, 교통 지체, 예측 모형, 터널, 교량

1. 서론

고속도로에는 교통사고, 도로용량 초과로 인한 지체, 도로작업 등 다양한 돌발상황이 발생하게 된다. 이

로 인해 지체체가 발생하게 되면 시간적·경제적으로 막대한 피해가 발생하게 된다. 또한 돌발상황으로 인해 발생하는 지체군은 쉽게 해소되지 않기 때문에 운전자의

불편과 교통처리에 큰 어려움을 겪게 된다.

돌발상황에 대해 효과적으로 대응하기 위해서는 무엇보다도 도로상황을 가능한 빨리 인지하여 돌발상황 전 단계의 도로상태로 회복하도록 신속한 조치를 취하는 점이 중요하다.

여러 돌발상황 중에서 교통사고에 의한 이벤트가 가장 규모가 크고 그 피해도 심각한 수준이다. 2008년 기준 한국도로공사가 관리하는 고속도로에서는 공식적으로 2,449건의 교통사고가 발생하고 있으며, 1,120명의 사상자가 발생하였다.

교통사고는 현장을 복구하고 통제하는 작업 외에도 사상자를 호송하기 위한 작업, 그리고 현장 사고경위를 조사하기 위한 작업 등이 혼재되어 발생하기 때문에 매우 복잡하고 복구시간이 매우 많이 소요되는 돌발상황이라 할 것이다.

우리나라의 경우 각 도로를 관리하는 기관별로 돌발상황시 이를 인지하고 처리, 개통 등의 일련의 노하우가 축적되어 있는 상태지만, 아직까지도 사고 인지부문에서는 이용자의 제보 등이 중요한 역할을 수행하고 있는 실정이다.

교통사고가 발생하여 이를 인지하고, 현장작업을 통해 원래의 도로상태로 복구하는데 소요되는 시간을 돌발상황 지속시간(Incident Duration Time)이라 하는데, 이는 사고형태와 장소, 그리고 사고피해 정도에 따라 다르게 나타난다.

본 연구에서는 고속도로에서 발생하는 교통사고 자료를 바탕으로 돌발상황 지속시간에 영향을 주는 주요 요인들을 밝혀내기 위해 예측모형을 구축하였다.

이러한 연구는 크게 3가지 측면에서 활용가능한데, 첫째 사고발생시 복구 가능한 시간을 예측하는데 활용하고, 둘째 사고를 빨리 수습하기 위해 필요한 주요 요인들을 찾아내는 것이며, 셋째 고속도로 이용자에게 사고발생 시 예측 가능한 정보를 제공할 수 있는 기틀을 마련하기 위한 것이다.

2. 돌발상황 지속시간

돌발상황 발생 시 가장 큰 문제점은 도로용량이 순식간에 감소됨으로써 지체를 가중시킨다는 점이다. 따라서 이에 대한 피해를 최소화하기 위해서는 돌발상황 지속시간을 단축시켜야 한다.

그림 1에서와 같이 Ozbay & Kachroo(1999)는 돌발

상황에 따라 발생하는 총 지체도를 유고의 검지부터 유고처리, 복구에 의해 지체군이 해소될 때까지 발생하는 총 지체도를 개념적으로 정립하였다.

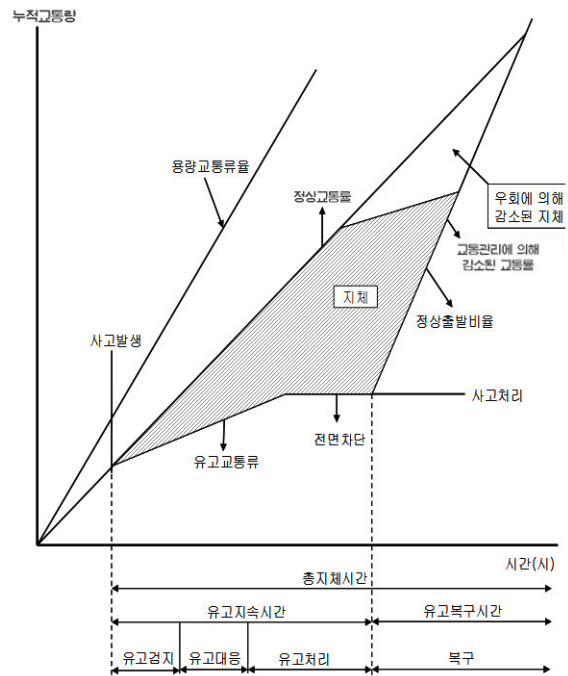


그림 1. 교통사고 시 지체발생 개념도

교통사고 시 돌발상황 지속시간은 “교통사고 발생시점부터 현장처리반이 출동하여 돌발상황을 종료시킬 때까지 소요되는 시간”으로 정의할 수 있다. 그림 2와 같이 돌발상황 지속시간은 검지시간, 대응시간, 처리시간으로 구성된다.

돌발상황 지속시간(Incident Duration Time)

$$\begin{aligned}
 &= \text{사고발생시점부터 현장 처리까지의 소요시간} \\
 &= \text{검지시간} + \text{대응시간} + \text{처리시간} \quad (1)
 \end{aligned}$$

검지시간(Detection Time)은 사고가 발생하면서부터 이를 인지, 확인할 때까지 소요되는 시간이다. 현재

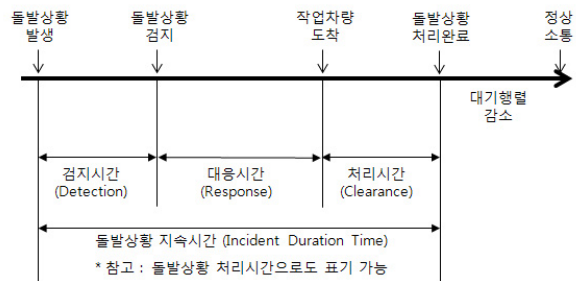


그림 2. 돌발상황 지속시간 개념도

는 대부분 지역단위별로 설치된 고속도로 상황실에서 사고를 파악하고 확인하는 절차를 거치며, 이용자의 제 보도 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 교통사고의 특성에 따라 검지시간의 편차는 매우 크며, 돌발상황 관리체계에 있어 가장 중요한 요소이다.

대응시간(Response Time)은 대응을 위한 준비시간과 현장에 대응반이 도착할 때까지 소요되는 시간이다. 준비시간은 대응반 준비, 경찰 및 병원 등 유관기관 정보공유, 상황 보고 등의 작업이 필요하다. 대응시간은 이미 시스템화되어 있어 교통사고별로 시간적 편차가 검지시간에 비해 크지는 않다.

처리시간(Clearance Time)은 현장 복구를 위한 작업 시작부터 완료할 때까지 소요되는 시간을 말한다. 처리시간은 접근교통량, 사고에 관련된 차량수, 복구작업시 차단된 차로수, 사상자수 등에 의해 차이가 발생한다.

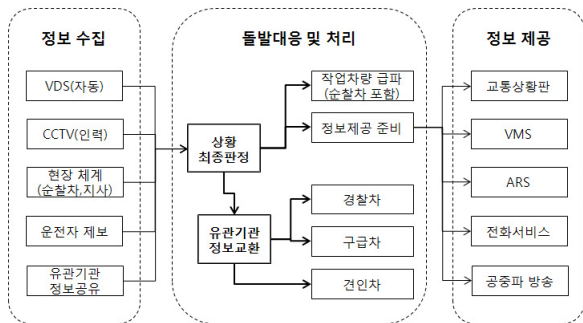


그림 3. 돌발상황 발생시 처리절차

돌발상황 중 교통사고의 경우는 심각도가 대체로 높은 상황이며, 고속도로에서는 복구작업 도중에 차로폐쇄 여부로 등급을 나누는데, 전체차로 폐쇄, 일부차로 폐쇄, 길어깨 폐쇄로 심각도를 구분하고 있다.

고속도로 사고DB자료를 보면, 검지시간과 대응시간을 합하여 현장 도착시간으로 표기하고 있다. 실제로 유고가 발생하면 다양한 경로로 정보가 수집되어 전파되고, 여러 유관기관들이 각자 현장에 도착하므로 이를 검지시간과 유고시간으로 구분하는데 현실적으로 불가능하기 때문이다.

3. 교통사고 특성 비교

교통사고 유형 및 특성에 따라 돌발상황 지속시간은 다르게 나타난다. 본 장에서는 실제적인 교통사고자료 분석 및 비교를 통해 시사점을 도출하고자 한다.

특성비교 자료는 사고등급 D등급 이상 교통사고 중에

서 고속도로를 구성하는 본선 일반구간(이하 “일반구간”), 터널부, 교량부 구간에서 발생한 7,407건의 교통사고를 대상으로 분석하였다. 그리고 돌발상황 지속시간과 관련성이 있을 것으로 판단되는 교통량, 폐쇄된 차로 수 등의 요인은 고속도로 사고이력자료에 포함되어 있지 않아 향후 지속적인 연구를 통해 관련성을 규명하고자 한다.

3.1. 교통사고 유형별 비교

교통사고 유형별 돌발상황 지속시간을 분석한 결과, 화재사고가 51분으로 가장 높았으며, 그 다음으로는 차-차 사고유형이 47분으로 높게 나타났다.

이 같은 결과는 화재사고의 경우 화재를 진압하기 위한 특수차량의 출동시간, 차-차 사고의 경우 관련 사고 차량의 견인으로 인한 시간손실 등의 원인에 기인한 것으로 분석되었다.

표 1. 교통사고 유형별 지속시간(분)

평 균	차 - 차	차 - 시설	단독	화재	기타 (사람포함)
38분 (7,407건)	47분 (1,176건)	34분 (3,437건)	37분 (1,514건)	51분 (205건)	42분 (1,075건)

주 : ()은 교통사고수를 나타냄

3.2. 지속시간대별 비교

전체 고속도로 교통사고의 사고건당 평균 지속시간은 38분으로 나타났다. 전체 사고의 57.5%가 30분 이내에

표 2. 지속시간대별 빈도수

계 (건수)	10분 이내	10분초과~30분이하	30분초과~1시간이하	1시간초과~2시간이하	2시간 초과
7,407 (100.0)	580 (7.8)	3,683 (49.7)	2,358 (31.8)	606 (8.2)	180 (2.5)

주 : ()은 분담비율을 나타냄

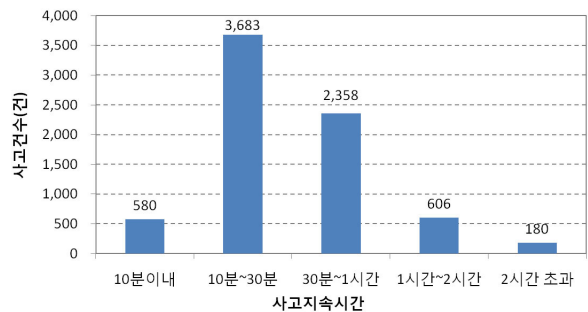


그림 4. 지속시간대별 빈도수 분포도

도로상황이 정상적으로 복구되는 것으로 나타났으며, 89.3%가 1시간 이내에 완료되는 것으로 나타났다.

반면에 2시간이 초과되는 사고 또한 180건으로, 전체 2.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 사고 유형은 대부분 터널내 사고, 화재사고, A등급 등의 사고유형에서 나타나고 있다.

3.3. 교통사고유발 차종별 비교

교통사고 유발차량은 승용차, 승합차, 화물차로 구분하여 유발차량에 따른 평균 지속시간을 분석한 결과 표 3과 같이 화물차가 52분으로 가장 높게 분석되었다. 화물차가 유발한 사고의 경우, 치사율이 높으며 노면 잡물 처리 및 견인의 어려움이 존재하기 때문에 다른 차종과는 지속시간에 있어 차이를 보이고 있다.

표 3. 사고유발 차종별 평균 지속시간(분)

평균	승용차	승합차	화물차
38분 (7,407건)	33분 (4,832건)	35분 (541건)	52분 (2,034건)

주 : ()은 교통사고수를 나타냄

3.4. 사고장소별 비교

본 연구에서는 본선을 구성하는 요소인 일반구간, 터널, 교량구간에 대해 지속시간의 차이를 분석해 보았다. 돌발상황에 의한 평균 지속시간은 교량 45분, 일반구간 38분, 터널 34분의 시간이 소요되었다. 특히, 터널구간의 교통사고는 폐쇄된 공간에 따라 작업차량의 접근이 어렵고 사고처리에 문제점이 많은 것이 사실이나, 터널마다 별도의 관리시스템이 운영되고 있어 돌발상황 시 신속한 대응이 가능함으로써 일반구간보다 오히려 돌발상황 지속시간이 적은 것으로 나타났다.

표 4. 교통사고 장소별 평균 지속시간

평균	일반구간	교량	터널
38분 (7,407건)	38분 (6,961건)	45분 (217건)	34분 (229건)

주 : ()은 교통사고수를 나타냄

3.5. 사고등급별 비교

한국도로공사가 고속도로를 관리함에 있어 교통사고 심각도에 따라 차체적으로 정한 등급(A~D)별¹⁾로 돌발상황 지속시간을 분석해 보고자 한다.

사고등급별 지속시간은 표 5와 같이 A등급 사고는 사망자가 발생한 교통사고로 평균 181분, B등급 사고는 평균 65분의 지속시간이 소요되는 것으로 나타났다. 교통사고의 등급이 낮은 것은 사고피해가 적다는 것을 의미하므로 사고를 처리하는데 적은 시간이 걸리는 것으로 나타났다. 그리고 본 연구에서는 D등급의 교통사고는 평균 35분으로 C등급의 지속시간 평균 42분과 큰 차이가 나타나지는 않아 분석대상에 포함시켰다.

표 5. 사고등급별 평균 지속시간(분)

평균	A등급	B등급	C등급	D등급
38분 (7,407건)	181 (9)	65 (266)	42 (1,656)	35 (5,476)

주 : ()은 교통사고수를 나타냄

교통사고 등급별에 따른 사고구간별 평균 지속시간을 분석한 결과, 표 6과 같이 나타났다. 교통사고 발생장소별 C등급 이상의 교통사고를 살펴보면, 터널은 12.3%, 교량은 17.2%, 일반구간은 16.2%로 교량구간에서 인명피해 사고가 많이 발생하고 있다. 즉, 터널구간 보다 교량구간에서 사고등급이 높은 교통사고가 많이 발생됨으로 인해 돌발상황의 지속시간이 긴 것으로 분석되었다.

표 6. 사고등급에 따른 사고구간별 평균 지속시간(분)

구분	A등급	B등급	C등급	D등급
터널 (229건)	0 (0.0%)	10 (4.4%)	41 (17.9%)	178 (77.7%)
교량 (217건)	2 (0.9%)	10 (4.6%)	47 (21.7%)	158 (72.8%)
일반구간 (6,961건)	7 (0.1%)	246 (3.5%)	1,568 (22.5%)	5,140 (73.8%)

주 : ()은 분담비율을 나타냄

4. 기존문헌 고찰

국외의 돌발상황 처리시간에 대한 예측모형으로는 Northwestern 모형, Advanced 모형, Garib 모형이 대표적인 사례이다.

1) A급 : 사망 3명 이상, 사상자 10명 이상, 부상 20명 이상, 도로시설물 피해액 1,000만원, 관련차량이 10대 이상, 5대 이상(사망사고 포함)

B급 : 사망 1명 이상, 부상 5명 이상, 도로시설 피해액 250만원 이상, 관련차량 5대 이상 혹은 3대 이상(부상사고 포함)

C급 : 부상 1명 이상, 도로시설물 피해액 30만원 이상, 관련차량 3대 이상

D급 : 그 외의 사고

Northwestern 모형(1991)은 일리노이즈 DOT에서 제공한 121건을 바탕으로 지속시간과 관계가 있는 9개의 변수를 찾아내어 선형모형식을 개발하였다. 채택된 변수로는 작업내용과 관련된 변수, 사고피해와 관련된 변수, 기상조건 변수, 노측방송 유무 변수 등이 채택되었다.

Garib 모형(1997)은 FHWA의 지원으로 진행된 IMPACT 모형의 Sub 모듈 중 하나인데, 돌발상황 지속시간에 영향을 주는 요인으로는 차로 수, 돌발상황 직접 관련 차량 수, 트럭포함여부(0 또는 1), 침두시간 여부(오전 침두 0 또는 오후침두 1), 경찰 대응시간, 날씨 변수 등에 의해 예측할 수 있는 로그-선형 모형식을 제안하였다.

Advanced 모형(1994)은 Northwestern 대학이 ADVANCE 프로젝트의 일환으로 801건의 자료를 바탕으로 DECISION TREE를 제안하였다. 돌발상황 지속시간은 경찰차량 수와 구급·소방차 수 등에 따라 달라진다는 것을 보여주고 있다.

Nam와 Mannering(1998)은 위험함수 기반으로 감지, 대응 처리시간에 대해 독립적인 처리시간 예측모형을 구축하였다. 처리시간을 결정하는 주요 요인의 하나가 대응 업무의 주관기관임을 제시하고 있다.

국내에서는 돌발상황 관리체계 도입에 대한 관심이 높아지면서 유사한 연구와 논문이 발표되었으며, 이중 지속시간에 대한 연구내용 위주로 정리하면 다음과 같다.

한용구(2000)는 1995~1996년 워싱턴주 교통부의 돌발상황 자료를 활용하여 지속시간과 주요 변수들 간의 선형회귀모형을 개발하였다. 주요 설명변수는 대응차량 도착에서 처리 후 출발까지의 시간, 우천 여부, 차단된 차로 수, 화물차 포함여부, 연류된 차량 수, 오전 침두 여부 변수 등이 포함되었다.

신치현(2002)은 고속도로에서 발생한 168건의 사고 자료를 통해 지속시간 예측을 위해 주야간 분리모형(I), 사상자 여부에 따른 모형(II), 전체 자료를 이용한 통합모형(III,IV)을 제시하였다. 이중 상수항이 포함된 통합모형 IV가 가장 설명력이 높은 것으로 나타났으며, 심야시간 여부, 화물차 전복여부, 화재 발생, 낙하물 발생여부, 돌발상황에 연류된 차량대수, 폐쇄 차로 수, 중대형 화물차 수, 사상자 수 등이 모형에 반영되었다.

신치현(2004)은 기존 연구들의 수학적 모형과 달리 개략적인 차단시간과 시간적 범위를 제시하여 TMC 운전자의 탄력적 대응을 돕기 위한 돌발상황 지속시간과 다중 추돌사고의 decision-tree를 개발하였다. 연구

결과, 지속시간 및 다중 추돌사고의 경우 소형차보다 대형차량일 때 처리시간이 높게 발생되고 있었으며, 다중 추돌 보다 단독 및 이중추돌 사고의 처리시간이 높음을 규명하였다.

하오근(2010)은 사고등급(A, B, C)에 따른 돌발상황 지속시간 예측모형을 개발하였으며, 주요 요인으로는 교통량, 중차량 포함여부, 사고시간대임을 규명하였다. 또한, 돌발상황 처리시간대 예측모형에서 영향 변수로 도출된 변수들을 토대로 decision-tree를 개발하였다. 그 결과, 1차적으로 사고등급은 A, B, C등급으로 구분되었으며, 2차적으로 도로의 교통량으로 분리됨을 제안하였다.

이상의 고찰을 통한 기존 논문의 특징을 보면, 국외의 경우 돌발상황 지속시간에 영향을 주는 요인들을 체계적으로 제시하였으나, 우리나라 실정과 비교하면 돌발상황 대응체계가 다르기 때문에 직접적인 적용은 불가능하다. 특히, 외국은 경찰과 구급구난청이 사고현장을 주도하지만 우리나라는 도로관리청의 역할이 매우 중요하기 때문에 실제 관리체계가 다르다고 할 수 있다. 국내 고속도로의 경우 한국도로공사가 교통관제센터(TMC) 및 순찰차를 통해 실시간으로 도로상황을 관리·운영하고 있다. 하지만, 돌발상황 발생시 사고현장 수습 및 교통흐름 관리는 경찰청과 구급구난청이 담당하고 도로관리청은 지원업무를 담당하고 있다. 따라서 돌발상황 전·후에 대한 도로상황을 담당하고 있는 도로관리청과 사고현장 조사를 담당하는 경찰청간의 상호협조를 통해 교통영향권 즉, 대기행렬, 지체, 정상류 회복시간 등의 자료구축을 통해 효율적인 돌발상황 관리가 체계적으로 수립되어야 할 것으로 판단된다.

국내 문헌의 특징은 미국과 같은 접근방식을 채택하여 모형을 개발하고 있으나, 분석 자료가 다소 제한적이라 포괄적인 결과를 제시하지는 못하고 있다.

본 연구에서 개발하고자 하는 지속시간 예측모형의 특징을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 도로 장소별 돌발상황 지속시간에 대한 차이가 있는지를 검토하는 것이다. 특히 터널구간은 길어깨 폭이 좁고 폐쇄된 공간이라 작업차량의 접근이 어려우며, 교량구간 또한 차량대피 공간의 부족으로 인해 복구시간에 악영향을 줄 수 있기 때문이다.

둘째, 사고의 경중에 따라 차이가 존재하느냐에 대한 부분이다. 특히 사상자가 많이 발생할 경우에 인명피해 구조로 인해 현장 복구가 늦추어질 가능성이 높기 때문이다. 특히 D등급사고도 매우 경미한 사고이지만 경찰

또는 보험회사의 처리여부에 따라 많은 시간이 소요되므로 분석에 포함시키고자 한다.

셋째, 사고발생 후 작업차량 도착까지 소요되는 시간, 즉 검지 및 대응시간이 돌발상황 지속시간에 얼마나 영향을 주는지를 분석해 보는 것이다. 작업차량의 현장 도착이 늦어지면 차량 지체군이 길어지고, 본선차량의 길어깨 무단 점유 등의 현상이 발생할 수 있기 때문에 검지 및 대응시간의 감소가 얼마나 중요한지를 점검해 보고자 한다.

5. 자료 구축 및 통계 분석

5.1. 분석 대상

고속도로 교통사고 발생 시 돌발상황 지속시간에 영향을 주는 인자를 찾아내기 위해 모형을 구축해 보고자 한다. 먼저 2008년도에 고속도로에서 발생한 교통사고 자료를 수집하고 분석을 시행하였다.

교통사고는 다양한 장소에서 발생하며, 본 연구에서는 본선을 구성하는 도로요소인 일반구간, 터널, 교량구간으로 교통사고 자료를 구분하여 분석하였다.

5.2. 사고자료의 변수화

표 7은 모형 구축을 위해 변수들을 어떻게 처리할 것 인지를 종합적으로 정리한 표이다. 종속변수는 사고발생 시 돌발상황 지속시간이며, 이와 관련하여 다양한 설명변수를 구축하여 분석하였다. 설명변수는 크게 사고 발생 지점, 사고대응변수, 사고피해변수, 도로 요인, 환경 요인으로 구성하였다.

그리고 사고발생지점(일반, 교량, 터널구간)별로 사고를 처리하는 시간이 다르고, 사고지점별로 사고형태가 다를 것으로 판단되어 각각의 모형을 구축하여 비교하였다.

사고대응변수는 작업차량의 현장 도착시간, 최초사고 접수매체, 교통차단시간으로 구성된다. 이중 최초사고 접수매체는 각 지역에 설치된 한국도로공사 지사 상황실이 대부분이며, 운영자 또는 이용자의 제보를 통해서도 정보를 취득하고 있다.

사고피해변수는 사고등급, 사망자 수, 인명피해 수, 사고 유형, 사고차량 수, 사고유발차종 등으로 구성된다. 여기에서 사고유형 및 사고유발차종은 통상 기존 문헌에서 고려하지 않은 변수이며, 사고 등급에 따라 지속시간의 차이가 발생하는지를 검토해 보고자 한다.

도로요인 변수는 해당구간이 공사구간인지, 종단선형이나 평면선형이 있는지를 검토해 보았다. 특히 종단선형의 경우 차량들의 속도가 저하되는 현상이 발생하여 지속시간에 영향을 줄 것으로 판단되기 때문이다.

환경요인은 요일(주중과 주말), 사고시간대, 기상 상태, 주야간 구분 등의 변수를 채택하였다. 이중 오전 피크 시와 기상 상태는 기존 문헌에서 많이 채택된 변수들이다.

표 7. 모형구축을 위한 변수처리 방식

변수명		변수처리
종속 변수	돌발상황 지속시간	• 사고 발생시점부터 현장 작업완료 까지 소요된 시간 (단위: 분)
발생 장소	일반	• 터널 및 교량사고를 제외한 본선에서 발생할 경우에 1로 더미변수로 처리
	터널	• 터널에서 사고가 발생할 경우에 1로 더미변수로 처리
	교량	• 교량에서 사고가 발생할 경우에 1로 더미변수로 처리
사고 대응	현장 도착시간	• 사고시점부터 작업차량이 현장 도착 까지 걸린 시간 (단위: 분)
	최초사고 접수매체	• 사고를 최초로 접한 매체 - 0: 기타(고객, 현장등), 1: 상황실
	교통 차단시간	• 사고시점부터 교통이 차단된 시간 (단위: 분)
사고 피해	피해등급	• 사고피해 정도에 따른 사고등급 분류 (단위: 명목척도) - 1:D등급, 2:C등급, 3:B등급, 4:A등급
	사망자 수	• 총 사망자 수 (단위: 명)
	인명피해 수	• 총 사상자 수 (단위: 명)
	사고유형	• 단독, 차-차, 차-시설을 각각 더미 변수로 처리 - 사고유형에 따라 차이 예상
	사고차량 수	• 총 사고관련 차량 수 (단위: 대)
	사고유발 차종	• 승용차, 버스, 화물차를 각각 더미 변수로 처리 - 유발차종에 따라 차이 예상
도로 요인	작업장구분	• 공사구간 여부 - 0: 비공사구간, 1: 공사구간
	평면선형	• 평면선형 존재 여부 - 0: 직선, 1: 곡선 존재
	종단선형	• 종단선형 존재 여부 - 0: 종단경사없음, 1: 종단경사있음
환경 요인	요일구분	• 주중과 주말에 따라 차이 예상 - 0: 주중, 1: 주말
	시간대	• 피크 시와 비피크 시에 따라 차이 발생 - 오전 첨두(7시~9시), 오후 첨두(6시~8시)를 각각 더미변수로 처리
	기상상태	• 기상상태에 따라 차이예상 - 맑음(흐림포함), 비, 눈을 각각 더미 변수로 처리
	주야구분	• 주간과 야간에 따라 차이 예상 - 0: 주간, 1: 야간

5.3. 상관 분석

더미형태로 처리한 명목형 설명변수에 따라 지속시간의 차이가 발생하는지를 검증하기 위해 평균치 검정(T-test)을 수행하였으며, 그 결과는 표 8과 같다.

표 8. 명목형 설명변수의 지속시간에 대한 평균치 검정 결과

변수	설명	평균	표준편차	t-value (p-value)
발생장소	1 : 일반구간	37.90	41.290	-0.787 (0.431)
	0 : otherwise	39.31	36.299	
	1 : 터널	33.76	24.380	-2.589** (0.010)
	0 : otherwise	38.12	41.420	
	1 : 교량	45.16	44.945	
0 : otherwise	37.77	40.865	2.394* (0.017)	
최초사고접수매체	1 : 상황실	38.78	38.862	2.248* (0.025)
	0 : otherwise	36.55	44.583	
사고유형	1 : 단독사고	38.57	45.911	0.675 (0.499)
	0 : otherwise	37.81	39.407	
	1 : 차-차 사고	46.86	40.253	8.231** (0.000)
	0 : otherwise	36.31	40.934	
	1 : 차-시설 사고	33.51	28.166	
0 : otherwise	41.86	49.178	-9.105** (0.000)	
사고유발차량	1 : 승용차	32.47	39.075	-15.530** (0.000)
	0 : otherwise	48.07	42.515	
	1 : 승합차	34.92	24.810	-2.800** (0.005)
	0 : otherwise	38.23	42.011	
	1 : 화물차	51.79	45.581	
0 : otherwise	32.75	37.844	16.780** (0.000)	
작업장구분	1 : 공사구간	44.46	43.590	2.283* (0.023)
	0 : otherwise	37.78	40.907	
평면선형	1 : 직선	38.23	42.093	0.746 (0.731)
	0 : otherwise	37.50	38.825	
종단선형	1 : 종단경사 있음	38.35	40.439	0.643 (0.520)
	0 : 종단경사 없음	37.73	41.397	
요일구분	1 : 주말	36.39	41.077	-2.177* (0.029)
	0 : 주중	38.66	40.961	
침두시간대	1 : 오전침두(7~9시)	34.13	28.615	-2.582** (0.010)
	0 : otherwise	38.38	42.046	
	1 : 오후침두(18~20시)	38.39	49.133	0.231 (0.818)
	0 : otherwise	37.94	40.091	
기상상태	1 : 맑음	38.81	42.106	3.866** (0.000)
	0 : otherwise	34.60	35.977	
	1 : 비	33.88	33.090	-3.832** (0.000)
	0 : otherwise	38.79	42.351	
	1 : 눈	38.56	48.406	
0 : otherwise	37.97	40.748	0.218 (0.828)	
주야구분	1 : 야간	41.43	48.563	5.974** (0.000)
	0 : 주간	35.65	34.784	

주 : *는 신뢰수준 95%에서 유의, **는 신뢰수준 99%에서 유의

지속시간에 차이를 보이는 변수로는 발생장소, 최초 사고접수매체, 사고유형(차대차 사고, 차대시설), 주중과 주말로 구분한 요일변수, 오전 침두시간, 기상상태, 주야간 등이 서로 다른 의미를 갖는 것으로 나타났다.

연속형 변수의 경우에는 변수들 간에 상호 상관관계 분석을 시행하였는데, 결과는 표 9와 같다. 일반적으로 상관관계수(R)는 0.4 미만이면 상관성이 없고, 0.4 이상이면 상관성이 있다고 볼 수 있다.

종속변수인 돌발상황 지속시간은 교통사고 차단시간 외에 상관성이 매우 낮게 나타났다. 그 외 설명변수들 간에도 전체적으로 상관성이 매우 낮게 나타나 모형개발을 위해 특별히 배제할 변수는 발견되지 않았다.

돌발상황 지속시간 예측모형을 개발하기 위해 명목형 설명변수의 경우에는 종속변수인 돌발상황 지속시간에 대한 평균치 검정 결과 차이가 발생한 변수위주로, 연속형 설명변수는 상호 연관성이 낮은 변수를 중심으로 모형을 구축하였다.

표 9. 연속형 변수간 상관관계 분석

변수	사고처리 시간	현장도착 시간	교통차단 시간	사고등급	사망자 수	총 사상자 수	사고차량 수
사고처리 시간	1	0.165 (0.000)	0.479 (0.000)	-0.157 (0.000)	0.085 (0.000)	0.095 (0.000)	0.113 (0.000)
현장도착 시간	-	1	0.009 (0.460)	0.047 (0.000)	-0.014 (0.234)	-0.021 (0.077)	-0.003 (0.785)
교통차단 시간	-	-	1	-0.245 (0.000)	0.139 (0.000)	0.172 (0.000)	0.185 (0.000)
사고등급	-	-	-	1	-0.520 (0.000)	-0.411 (0.000)	-0.148 (0.000)
사망자 수	-	-	-	-	1	0.455 (0.000)	0.123 (0.000)
총 사상자 수	-	-	-	-	-	1	0.201 (0.000)
사고차량 수	-	-	-	-	-	-	1

주 : ()값은 유의확률을 나타낸 것임

6. 모형 개발 및 해석

모형은 지수형태의 선형회귀식을 사용하여 분석하였으며, 이에 대한 기본 형태는 식(1)과 같다.

$$Y = \exp(\alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 \cdots \alpha_n x_n) \quad (1)$$

여기서, y : 돌발상황 지속시간(분)

x_1, x_2, \dots, x_n : 돌발상황 지속시간 영향요인들

6.1. 통합 모형 (모형1)

먼저 사고 장소별로 구분하지 않고 데이터를 통합하여 분석한, 통합 모형 결과는 표 10과 같다. 설명력을 보면, R^2 이 0.684로 상당히 양호한 설명력을 나타내었다. 또한 수정된 결정계수(Adjusted R^2)는 0.65로 R^2 보다 작아 추가적인 변수를 고려할 필요는 없는 것으로 나타났다.

표 10. 통합 모형 구축결과(모형 1)

변 수	변수처리	전 체			
		계수	t-value	p-value	
(상수)	-	2.370	0.093	0.926	
발생 장소	터널	터널 : 1	-0.022	-2.086	0.037*
	교량	교량 : 1	0.024	2.027	0.043*
	일반구간	일반구간 : 1	0.028	2.468	0.014*
현장도착시간	시간입력(분)	0.166	16.390	0.000*	
최초사고 접수매체	상황실 : 1	0.034	3.365	0.001*	
사고 유형	차-차	차-차사고 : 1	0.089	6.291	0.000*
	차-시설	차-시설 사고 : 1	-0.158	-9.964	0.000*
사고 유발 차량	승용차	승용차 : 1	-0.014	-0.215	0.830
	버스	버스 : 1	-0.013	-0.354	0.723
	화물차	화물차 : 1	0.193	16.656	0.000*
작업장구분	작업장 : 1	0.003	0.276	0.783	
요일구분	주중 : 0 주말 : 1	0.017	1.733	0.083**	
오전첨두	오전첨두시 : 1	-0.002	-0.167	0.868	
기상 상태	맑음	맑음 : 1	-0.154	-0.644	0.520
	비	비 : 1	0.126	0.565	0.572
주야구분	주간 : 0 야간 : 1	0.037	3.552	0.000*	
사고등급	A등급:4,B등급:3 C등급:2,D등급:1	0.070	5.590	0.000*	
표본수(N)		7,407			
R^2		0.684			
수정된 R^2		0.650			

주: *신뢰수준 95%에서 유의, ** : 신뢰수준 90%에서 유의

통합 모형에서 유의성(신뢰도 90% 이상)이 있는 설명 변수는 총 11개의 변수이며, 이를 토대로 모형에 대한

세부 해석을 시행하였다.

첫째, 교통사고 장소별로 지속시간에 주는 영향은 다른 것으로 나타났다. 즉 일반구간, 교량, 터널마다 돌발상황 지속시간에 미치는 영향이 다르며, 특히 교량구간에서의 사고발생 시 돌발상황 지속시간이 많이 소요되고 있는 것으로 나타났다.

둘째, 사고유형별로 보면, 차-차사고가 지속시간 증가에 정(+의 영향을 주는 것으로 나타났고, 차-시설 사고유형이 가장 적은 영향을 주는 것으로 나타났다.

셋째, 사고유발 차량 중에서는 화물차로 인해 유발된 사고가 지속시간 증가에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

넷째, 현장도착시간이 늦을수록 지속시간 증가에 상당한 영향을 주는 것으로 나타났다. 계수 값을 보면 0.166이며, 현장 도착시간의 값이 보통 두자리 수인 것을 감안하면 가장 큰 영향을 주는 요인으로 판단할 수 있다.

다섯째, 사고정보를 처음으로 입수한 사고접수매체가 상황실일 경우가 대체로 지속시간이 높은 것으로 나타났다.

여섯째, 주말이 주중보다 사고발생시 지속시간이 더 높은 것으로 나타났다. 국외 문헌에서 채택되지 않은 변수인 요일변수가 채택된 것은 주중보다 주말에 고속도로 이용차량이 많은 우리나라의 특성이 반영된 결과라 할 수 있다.

일곱째, 야간 교통사고 발생시 주간보다 지속시간이 더 긴 것으로 나타났다. 이는 외국 연구에서도 주요 변수로 채택된 지표이다.

여덟째, 사고등급이 높을수록 돌발상황 지속시간이 긴 것으로 나타났다. 사고 등급이 높은 경우는 본선 차단 확률이 높고, 관련 사고차량 및 사상자가 다수 발생하며, 특히 사고처리를 위한 많은 종류의 작업차량이 출동해야 하기 때문인 것으로 판단된다.

6.2. 개별 모형(모형2, 3, 4)

본 절에서는 터널, 교량, 일반구간에 대한 사고자료를 구분하여 각각의 개별 모형을 구축하였으며, 이에 대한 결과는 표 11과 같다.

먼저 터널구간 예측모형에는 현장 도착시간, 차-차, 화물차사고가 정(+의 부호이며, 차-시설 사고는 부(-)의 부호로 분석되었다. 따라서 사고처리를 위해 현장 도착시간이 늦을수록, 차-시설 사고보다는 차-차 사고가,

표 11. 사고발생 장소별 모형 구축결과(모형 2, 3, 4)

변 수 명		터널 구간 (모형2)			교량 구간 (모형3)			일반 구간 (모형4)		
		계수	t-value	p-value	계수	t-value	p-value	계수	t-value	p-value
(상수)		5.291	0.365	0.715	6.920	0.310	0.757	7.649	0.297	0.766
현장도착시간		0.154	3.797	0.000*	0.216	3.634	0.000*	0.165	15.753	0.000*
최초사고 접수매체		0.023	0.564	0.573	0.063	1.053	0.294	0.035	3.325	0.001*
사고 유형	차-차	0.192	2.655	0.009*	0.240	3.658	0.000*	0.088	6.011	0.000*
	차-시설	-0.209	-2.876	0.004*	-0.042	-0.549	0.584	-0.163	-9.913	0.000*
사고 유발 차종	승용차	-0.166	-0.642	0.521	0.081	0.352	0.725	-0.016	-0.233	0.816
	버스	-0.076	-0.460	0.646	-0.048	-0.377	0.706	-0.012	-0.325	0.745
	화물차	0.192	3.331	0.001*	0.233	3.492	0.001*	0.189	15.833	0.000*
작업장구분		-0.028	-0.679	0.498	0.015	0.264	0.792	0.003	0.318	0.751
요일구분		-0.047	-1.130	0.260	0.030	0.550	0.583	0.018	1.748	0.081**
오전첨두		-0.014	-0.341	0.734	0.018	0.315	0.753	-0.001	-0.128	0.898
기상 상태	맑음	0.057	1.403	0.162	-0.037	-0.631	0.529	-0.072	-0.680	0.496
	비	-0.057	-1.389	0.166	0.292	2.078	0.039*	0.131	0.577	0.564
주야구분		-0.080	-1.807	0.072**	0.036	0.621	0.535	0.039	3.580	0.000*
사고등급		0.049	0.975	0.331	0.067	0.864	0.389	0.157	0.646	0.518
표본 수(N)		229			217			6,961		
R^2		0.270			0.280			0.480		
수정된 R^2		0.268			0.278			0.421		

주: *신뢰수준 95%에서 유의, ** : 신뢰수준 90%에서 유의

사고차량이 화물차 일 때 사고 지속시간이 많이 걸리는 것으로 나타났다.

교량구간 모형에는 현장도착시간, 차-차, 화물차, 기상상태(비)에서 정(+)의 부호로 분석되었다. 따라서 현장도착시간이 늦을수록, 차-차 사고, 화물차 사고, 기상상태는 우천(비)시 사고 지속시간이 많이 걸리는 것으로 분석되었다.

일반구간 모형에서는 현장도착시간, 사고접수매체, 차-차 사고, 화물차, 요일, 주야구분에서 정(+)의 부호이며, 차-시설은 부(-)의 부호로 분석되었다. 따라서 현장도착시간이 늦을수록, 차-시설 사고가 아닌 차-차 사고, 주말 야간의 화물차 사고일수록, 그리고 고속도로 이용객 및 순찰 시 접보가 아닌 상황실 접보 시 사고 지속시간이 많이 소요되는 것으로 나타났다.

3개 개별모형을 종합적으로 살펴보면, 현장 도착시간, 차-차 사고, 화물차에 의한 유발사고 변수는 공통적으로 채택되었다. 특히 지속시간 단축을 위해서는 작업차량의 현장 도착시간을 단축하고, 화물차 사고 비중을 줄이는 것이 매우 중요하다는 소결을 내릴 수 있다.

또 하나 특이한 점은 교량구간은 우천(비)에 대한 영향을 받는 것으로 나타났으며, 일반구간은 야간 사고시

지속시간이 증가하는 것으로 나타났다.

7. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 고속도로에서 발생하는 교통사고를 대상으로 사고발생에서부터 현장을 원상태로 복구하는데 소요되는 돌발상황 지속시간에 영향을 주는 주요 요인을 찾아내는 것을 목적으로 진행되었다.

이를 위해 1개의 통합 모형과 사고발생 장소별로 구분한 3개의 세부 모형을 구축하였다. 모형을 통해 도출된 종합적인 결론은 다음과 같다.

첫째, 도로의 본선을 구성하는 시설은 크게 일반구간, 교량, 터널로 구분할 수 있는데, 모형에 포함된 각자의 터미변수가 유의한 것으로 판명되어 사고 장소별로 다른 특성이 나타났다. 특히 터널구간이 교량이나 일반구간보다 더 적은 영향이 있는 것으로 나타났는데, 이는 공간적 제약조건에도 불구하고 터널마다 별도의 모니터링 및 관리체계 도입으로 지속시간이 상대적으로 적게 나타난 것으로 판단된다(모형1 참조).

둘째, 4개 모형 모두가 현장 도착시간 변수가 중요 설명변수로 채택되었다. 결국 교통사고 시 현장 수습차량

이 얼마나 빨리 도착하느냐에 따라 전체적인 지속시간이 결정됨을 알 수 있었다.

셋째, 사고유형을 보면 차-차 사고유형이 지속시간 증가에 영향을 준 것으로 나타난 반면, 차-시설 사고는 오히려 가장 적은 영향을 주는 것으로 나타났다. 차-차 사고는 인명피해, 사고차량 견인, 본선 통제 등의 복합적인 사고처리 업무로 인해 지속시간에 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다.

넷째, 화물차로 인해 유발된 사고가 4개 모형 모두 지속시간에 큰 영향을 준 것으로 밝혀졌다. 따라서 화물차로 인해 발생하는 사고 자료를 분석하여 맞춤형 안전대책을 수립할 필요가 있다.

다섯째, 통합 모형과 일반구간 모형에서는 야간 사고시 지속시간에 영향을 주는 것으로 나타났으며, 교량구간에서는 우천시 영향을 받는 것으로 나타났다.

여섯째, 사고피해가 심할수록, 즉 사고피해 등급이 높을수록 지속시간이 길어지는 것으로 나타나 대형사고 예방을 위한 방지대책이 필요할 것으로 판단된다(모형1 참조).

본 연구에서 제시된 결과는 향후 고속도로 교통사고 처리대책을 수립하는데 있어 중요한 판단 지표로 활용이 가능할 것이다. 특히 사고발생 장소별 별도의 사고관리 대책의 수립이 필요하고, 일반적으로 사고처리가 열악할 것으로 예상되는 터널에서 지속시간이 적게 나타나 전담 관리체계 도입이 효과가 있음을 보여주고 있다.

본 연구에서는 많은 데이터를 확보하여 분석함으로써 지속시간에 영향을 주는 시사점 있는 다수의 설명변수를 도출하였다.

다만, 고려된 설명변수들이 대부분 거시적인 지표라 세밀한 분석을 시행하지는 못하였다. 따라서 돌발상황 지속시간에 직접적인 영향을 주는 차로 수, 폐쇄된 차로 수, 정체 해소시간, 정체 길이, 대기 차량 수, 경찰 현장 도착시간 등의 세밀한 변수를 포함시킨다면 더욱 더 설명력 높은 모형을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- 국토해양부(2004), “고속도로 돌발상황관리시스템(1차년도 최종보고서)” 2003년 지능형 교통체계 연구개발사업, 주관 : 교통개발연구원
- 한응구(2000), “유고지속시간 추정 모형식의 개발”, 아주대학교 석사학위논문
- 임성만(2003) “도시고속도로 돌발상황 감지 알고리즘 개발에 관한 연구”. 서울시립대학교 박사학위논문
- 강수구, 도철웅, 손봉수, 이시복(2001) “고속도로 돌발상황 감지 알고리즘 성능 개선기법에 관한 연구”, *대한교통학회지*, 제19권 6호, 대한교통학회
- 변원희, 김대호(2001) “돌발상황 발생에 따른 대응의 체계화 방안 연구”, *대한교통학회지*, 제19권 제1호(통권53호), 대한교통학회
- 신치현, 김정훈(2002) “고속도로 돌발상황 지속시간 예측모형 개발”, *대한교통학회지*, 제20권 제3호, 대한교통학회
- 신치현(2004) “고속도로 돌발상황 지속시간 예측을 위한 Decision-Tree 개발”, *대한토목학회지*, 제24권 제5D호, 대한토목학회
- 하오근, 박동주, 원제무, 정철호(2010) “고속도로 사고등급별 돌발상황 처리시간 예측모형 및 의사결정나무 개발” *한국 ITS 학회지*, Vol.9 No. 1, 한국ITS 학회
- FHWA(2000), *Traffic Incident Management Handbook*
- Garib et al(1997), “Estimating Magnitude and Duration of Incident Deley”, *Journal of Transportation Engineering*
- Gall, Ana I., and Hall, Fread L.(1989) Distinguishing between incident congestion and recurrent congestion: a proposed logic, *Transportation Research Record 1232*
- Hellinga, Bruce and Knapp, Geoff(1999) AVI based freeway incident detection, *Transportation Research Board*
- Nam & Mannering(1998) an exploratory hazard-based analysis of highway incident duration, *Transportation Research*.
- Ozby & Kachroo(1999) “*Incident Management in Intelligent Transportation Systems*”, Artech House
- U.S. DOT(2001) *Regional Traffic Incident Management Programs*
(접수일 : 2011. 9. 28 / 심사일 : 2011. 10. 5 / 심사완료일 : 2012. 1. 5)