

## Cox 모형을 활용한 고속도로 사고 처리시간 영향인자 분석

정연식\* · 김선중\*\*

Chung, Younshik\*, Kim, Seon Jung\*\*

### Crash Clearance Time Analysis of Korean Freeway Systems using a Cox Model

#### ABSTRACT

Duration induced by freeway crashes has a critical influence on traffic congestion. In general, crash duration composes detection and verification, response, and clearance time. Of these, the crash clearance time determined by a crash clearance team has attracted considerable attention in the freeway congestion management since the interest of the first two time stages faded away with increasing ubiquitous mobile phone users. The objective of this study is to identify the critical factors that affect freeway crash clearance time using a Cox's proportional hazard model. In total, 6,870 crash duration data collected from 30 major Korean freeways in 2013 were used. As a result, it was found that crashes during the night, with trailer or larger size truck, and in tunnel section contribute to increasing clearance time. Crashes associated with fatality, completed damage of crashed vehicle (s), and vehicles' fire or rollover after crash also lead to increasing clearance time. Additionally, an increase in the number of vehicles involved resulted in longer clearance time. On the other hand, crashes in the vicinity of tollgate, by passenger car, during spring, on flat section, and of car-facility type had longer clearance time. On the basis of the results, this paper suggested some strategic plans and mitigation measures to reduce crash clearance time on Korean freeway systems.

**Key words :** Freeways traffic crash, Crash clearance time, Congestion mitigation, Survival analysis, Cox model

#### 초 록

고속도로에서 발생한 교통사고 지속시간은 교통혼잡에 심각한 영향을 미친다. 일반적으로, 교통사고 지속시간은 사고의 검지시간, 대응시간, 처리시간으로 구성되며, 이 중 사고의 검지 및 대응시간은 최근 스마트폰 보급률 증가로 인해 매우 감소된 것으로 추정된다. 따라서 교통사고 처리팀에 의해 수행되는 사고 처리시간의 관리는 교통사고로 인한 교통혼잡 관리에 매우 중요한 요인이 된다. 본 연구는 고속도로 교통사고 처리에 영향을 미치는 주요 인자를 파악하는 것이 목적이다. 분석을 위해 2013년 전국 30개 주요 고속도로에서 발생한 총 6,870건의 자료를 이용하였다. 고속도로 사고 처리시간에 영향을 주는 인자 분석을 위해 Cox 모형을 활용하였다. 분석결과, 13개의 변수가 교통사고 처리시간에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 사고 처리시간을 증가시키는 요인은 터널에서 발생한 사고, 사망자가 발생한 사고, 사고차량수, 사고 후 상태의 상태가 전도 혹은 화재로 이어진 사고, 차량이 완파된 사고, 화물(대형) 및 트레일러 사고, 야간에 발생한 사고인 것으로 나타났다. 반면, 톨게이트에서 발생한 사고, 차-시설 사고, 승용차 사고, 종단구배가 평탄한 구간에서 발생한 사고는 다른 환경에서 발생한 사고보다 사고 처리시간을 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고속도로에서 사고 발생 시 혼잡에 영향을 줄 수 있는 사고 처리시간의 감소 전략 수립을 위한 기반정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**검색어 :** 고속도로 교통사고, 사고 처리시간, 혼잡 완화, 생존모형, Cox 모형

\* 중신회원·교신저자·영남대학교 도시공학과 조교수 (Corresponding Author · Yeungnam University · [tpgist@yu.ac.kr](mailto:tpgist@yu.ac.kr))

\*\* 영남대학교 도시공학과 석사과정 (Yeungnam University · [ksj25912@ynu.ac.kr](mailto:ksj25912@ynu.ac.kr))

Received September 26, 2017/ revised October 12, 2017/ accepted October 23, 2017

### 1. 서론

도로에서 발생한 교통사고(crash), 차량고장, 급작스러운 기후변화와 같은 사건을 돌발상황이라 하며, 이러한 돌발상황은 일시적으로 도로의 용량을 감소시켜 교통혼잡으로 이어진다. 이렇게 일시적으로 도로의 용량 감소에 따른 교통혼잡을 비 반복적 발생 혼잡(non-recurrent congestion)이라고 한다. 기존연구에 따르면 전체 돌발상황 유형 중 교통사고는 46%로 절반 수준에 이르는 것으로 나타났다(Ahn et al., 2014). 또한 고속도로 정체 유발 요인 중 교통사고는 44% 수준인 것으로 나타났다(Friedrich et al., 2012). 기본적으로 교통사고 발생 시 빠른 현장의 정리는 고속도로 교통 혼잡 감소와 직결되기 때문에 교통사고 현장 처리시간 영향인자의 파악은 매우 중요하다.

Chung (2010)은 HCM (Highway Capacity Manual) (TRB, 1994)을 참조하여 사고의 구성요소를 시간의 흐름에 따라 다음과 같이 정의 하였다(Fig. 1 참조): (1) 사고 검지/제보시간(detection/reporting time), (2) 반응시간(response time), (3) 처리시간(clearance/treatment time), (4) 회복시간(recovery time). 이중 사고 검지/제보 시간, 반응시간, 처리시간이 포함된 시간을 사고 지속시간(crash duration)이라 부른다. 사고 검지/제보시간은 교통사고 발생 후 사고에 대해서 인지하고 확인할 때까지 소요되는 시간으로, 최근 스마트폰이 대중화되면서 사고 검지/제보는 매우 신속하게 진행되는 것으로 추정된다. 또한 국내의 경우, 약 2km마다 CCTV (closed-circuit television)가 설치되어 교통사고 발생 시 즉각적인 확인이 가능하여 사고에 대한 검지/제보 시간을 줄이기 위한 연구는 다소 감소된 것으로 판단된다. 또한, 사고 반응시간은 사고를 접수한 사고 처리 반이 현장에 도착할 때까지 소요되는 시간으로, 국내 고속도로의 경우 사고 처리를 위한 자원이 각 톨게이트 부근에 배치될 가능성이 높으며, 출동 시스템은 체계화되어 있기 때문에 교통사고별 반응시간의 편차가 높지 않은 것으로 나타났다(Lee et al., 2015). 반면, 사고 처리시간은 사고 처리 인원이 현장 도착 후 처리를 완료할 때까지 소요되는 시간으로,

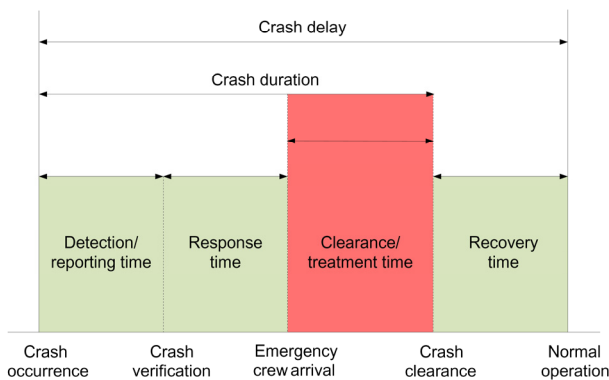


Fig. 1. Components of Crash Duration

전략적이고 체계적인 사고 처리는 결과적으로 사고 지속시간의 감소 혹은 사고로 인한 혼잡의 최소화로 이어질 수 있다. 전략적이고 체계적인 교통사고 사고 처리를 위해서는 교통사고 처리시간에 영향을 주는 주요 인자의 파악이 선행되어야 한다.

이러한 배경하에, 본 연구의 목적은 고속도로 교통사고 처리에 영향을 미치는 주요 인자를 파악하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 2013년 국내 주요 고속도로에서 발생한 교통사고 처리시간 자료를 활용하였으며, 교통사고 처리시간에 영향을 주는 인자를 파악하기 위해 준모수적 생존모형(semi-parametric 모형 혹은 Cox 모형)을 적용하였다.

### 2. 선행 연구 검토

비록 본 연구의 대상은 교통사고로 인한 처리시간이지만, 보다 포괄적인 분야에 대한 선행 연구를 검토하기 위해 본 연구에서는 일반적인 돌발상황뿐 아니라 교통사고의 지속시간에 관련된 선행 연구를 검토한다. 돌발상황 지속시간에 대한 연구는 1964년 De Rose Jr.에 의한 연구로 거슬러 올라간다(De Rose Jr., 1964). 이 연구는 미국 미시건 주 디트로이트 고속도로에서 1년간 CCTV (closed-circuit television)를 통해 수집한 자료를 활용하여 지속시간의 평균값을 제시하는 수준에 그쳤다. 유사한 연구가 1971년 (Goolsby, 1971)과 1974년(Juge et al., 1974)에 텍사스 주와 캘리포니아 주 고속도로에 대하여 각각 수행되었다. 그러나 이들 연구는 수집된 자료의 기술통계량을 제시한 수준으로 예측으로 활용하기에는 한계가 존재하였다. 이후 다양한 분석적 모형을 적용한 연구가 시도되었다. 1987년 Golob et al. (1987)은 캘리포니아주 남부 지역 고속도로에서 2년간 수집한 교통사고 자료를 적용하여 사고 지속시간에 대한 분포가 로그-정규 분포를 따름을 증명하였다. 1991년 미국 노스웨스턴 대학에서는 돌발상황 지속시간을 보다 세분화하여, 돌발상황의 처리시간에 대한 예측모형을 제시하였다. 이 모형은 노스웨스턴 대학이 소속된 일리노이 주 교통부(Department of Transportation: DOT)에서 제공한 총 121건의 돌발상황 자료를 기반으로 돌발 지속시간에 영향을 주는 9개의 변수를 활용한 선형 회귀모형식을 구축한 것이다(Wang, 1991).

2000년대 들어서면서, 국외 뿐 아니라 국내에서도 돌발상황의 지속시간에 대한 연구가 진행되었다. Shin and Kim (2002)은 상관분석 및 주·야간 분리모형, 사상자 유무, 통합모형(상수항 유·무)으로 총 4개의 다중회귀 모형을 제시하였다. Shin (2004)은 고속도로 교통사고를 대상으로 지속시간에 영향을 주는 요인들을 찾아내기 위해 의사결정나무 분석을 사용하였다. Chung et al. (2007)은 국내 전국 고속도로에서 발생한 교통사고 자료를 기반으로 생존분석 기법을 적용한 교통사고 지속시간 예측 모형에 대한

연구를 수행하였다. Ha et al. (2010)은 경부고속도로에서 2003~2007년까지 발생한 교통사고 자료를 활용하여, 의사결정나무 분석 기반 처리시간 예측모형을 구축하였다. Lee et al. (2012)는 지속시간에 영향을 미치는 인자를 파악하기 위해 2008년 고속도로에서 발생한 교통사고 자료를 통합모형과 개별모형(터널 구간사고, 교량 구간사고, 일반 구간사고)으로 나누어 분석하였으며, 분석을 위해 지수형태의 선형 회귀분석을 활용하였다.

국외의 경우, 기존 방법론 보다 보다 복잡한 분석 기법을 적용하여 보다 정확한 모형을 개발하고자 하였다. Nam and Mannering (2000)은 위험함수 기반 모수적(parametric) 방법을 적용하여 사고 검지/제보(Weibull 분포), 반응시간(Weibull 분포), 처리시간(log-logistic 분포)별 주요 인자를 분석하였다. Chung (2010)은 log-logistic 기반 생존모형을 이용하여 사고 지속시간에 대한 분석을 실시하였다. Alkaabi et al. (2011)은 다양한 모수적 생존모형 방법을 이용하여 분석하였으며, 적합성 검정을 통해 Weibull 분포가 사고 처리시간에 대한 변화를 가장 잘 설명하는 것으로 발표하였다. Chang and Chang (2013)은 사고 지속시간을 단기(5-41분), 중기(42-118분), 장기(119-391)별로 나누어 영향을 미치는 요인을 분석하였다. Khattak et al. (2016)은 사고 지속시간에 대한 정확한 분포를 예측하기 위해 분위 회귀분석(Quantile Regression)을 사용하였다. Table 1은 돌발상황 지속시간에 대해 최근 수행된 연구 사례를 정리한 것이다.

표에 제시된 바와 같이, 최근 돌발상황 지속시간에 대한 연구는 모수적 생존분석 기법, 분위 회귀분석 기법과 같은 보다 복잡한 통계적인 모형을 적용하고 있다. 그러나 이러한 복잡한 모형은 변수 간의 관계를 보다 정확하게 설명할 수 있을지 모르나, 현장 요원들이 이해하기에는 매우 어렵다는 단점도 발생한다. 또한, 국내의 경우, 고속도로 돌발상황의 요소인 교통사고 발생 시 처리시간에 대한 연구는 다양하게 진행되지 못했다. 따라서 본 연구는 국내 고속도로에서 교통사고 발생 시 처리시간에 영향을 주는 인자를 파악하기 위해 분석과 해석이 용이한 준 모수적 생존분석 기법(Cox 모형)을 적용하고자 한다.

### 3. Cox 모형

생존분석 기법은 비모수적(non-parametric) 방법, 모수적 방법 그리고 준모수적 방법으로 구분할 수 있다. 비모수적 방법은 생명표 분석(life table), 카플란-마이어방법(Kaplan-Meier)이 대표적으로 사용된다. 이러한 기법은 비연속적인 단일 독립변수의 효과를 고려해야 할 경우 사용된다. 모수적 방법은 로그 정규(log-normal) 분포, 로그 로지스틱, 감마(gamma)분포, 와이블 분포가 대표적으로 사용된다(Chung, 2010). 모수적 방법은 모형의 분포를 고려하는 점에서 비모수적 방법과 차이가 있다.

마지막으로 준모수적 방법은 일반적으로 Cox 모형을 일컫는다.

Table 1. Examples of Prior Studies on Incident Duration

Author (year)	Model used	Findings
Shin and Kim (2002)	Multiple regression	- Factors affecting incident duration: overturn or rollover of heavy vehicle, falling objects, number of heavy vehicles, and number of blocked lanes
Shin (2004)	Decision tree	- Factors affecting incident duration: number vehicles involved, heavy vehicle, overturn or rollover, and falling objects
Chung et al. (2007)	Parametric survival analysis	- Factors affecting crash duration: vehicle type, vehicle damage level, fatal crash, number vehicles involved, number of causalities, and night time periods
Ha et al. (2010)	Decision tree	- Factors affecting crash clearance time: crash severity level, night time period, traffic volume, heavy vehicle, and number of vehicles involved
Lee et al (2012)	Exponential function	- Factors affecting crash duration: response or arrival time to crash scene, vehicle to vehicle crash, heavy vehicle, and night time periods
Nam and Mannering (2000)	Parametric survival analysis	- Factors affecting incident duration: incident information source, incident time, rain and fog condition, fatal incident, number of causalities, number of vehicles involved, and crash vehicle type
Chung (2010)	Parametric survival analysis	- Factors affecting crash duration: involved vehicle type, vehicle's fire, fatal crash, number injured, number vehicles involved, and night time period
Alkaabi et al. (2011)	Parametric survival analysis	- Factors affecting crash clearance time: month, location, weather condition, crash type, number of causalities, and number of vehicles involved
Chang and Chang (2013)	Classification tree	- Factors affecting incident duration: number of large-sized vehicles, incident type, provided decision rules to predict incident duration
Khattak et al. (2016)	Quantile Regression	- Factors affecting incident duration: incident detection source, incident type, roadway type, incident time, number of causalities, and number of vehicles involved

Cox 모형은 분포를 고려하지 않고도 모수적 방법과 유사한 결과를 도출할 수 있다는 장점이 있다(Cleves et al., 2004). Cox 모형을 분석에 사용할 경우 비모수적 방법처럼 간단하게 결과를 도출할 수 있으며, 모형의 도출과정의 복잡한 모수적 방법의 단점을 보완할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 비모수적 방법과 모수적 방법의 장·단점을 고려한 Cox 모형을 연구에 활용하였다.

Cox 모형의 수리적 표현은 다음과 같다.

$$h(t) = h_0(t) \cdot \exp(b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n) \quad (1)$$

여기에서 위험함수  $h(t)$ 는  $n$ 개의 독립변수( $x_1, x_2, \dots, x_n$ )와, 관련된 회귀계수( $b_1, b_2, \dots, b_n$ )에 의해 결정된다.  $h_0(t)$ 는 기저함수라 부르며, 모든  $x_i$ 값이 0일 때 위험함수의 값을 나타낸다. 마지막으로 위험함수  $h(t)$ 에서  $t$ 는 관심 대상이 되는 종속변수를 나타낸다. 본 연구에서는 종속변수는 사고 처리시간이 되며, 사고 처리시간에 영향을 미치는 개별 독립변수를 추정하게 되며, 각 독립변수에 대한 회귀계수  $b_i$ 의 부호와 크기에 따라 모형을 해석하게 된다. 즉,  $b_i$ 값이 양수인 경우, 위험률이 증가함을 의미하며, 반대의 경우 위험률이 감소함을 의미한다. 일반적으로 생명의 개체를 관심대상으로 할 때, 위험률의 증가는 빠른 사망을 의미하고 반대의 경우 생존율의 증가를 의미한다. 본 연구는 사고 처리시간에 대한 연구이므로,  $b_i$ 값이 양수인 경우, 관련  $x_i$ 변수는 처리시간을 단축시키는 인자로 해석이 되며, 음수인 경우 처리시간을 증가시키는 인자로 해석된다.

## 4. 자료 구축

### 4.1 자료의 특성

본 연구는 2013년 전국 30개 주요 고속도로에서 발생한 총 9,703건의 교통사고 자료를 활용하였다. 한국도로공사는 교통사고에 관련된 다양한 정보를 기록하여 관리하고 있으며, 이러한 정보는 사고분석 혹은 사고지속시간 분석 시 주요인자로 활용하기에 매우 용이하다. 본 연구에서는 교통사고 처리시간 영향인자를 크게 5가지 항목, 즉, 사고시간, 사고특성, 사고환경, 가하구조 및 도로시설물 특성, 운전자특성으로 구분하여 분석에 활용하였다. 총 9,703건의 자료가 수집되었으나, 각 항목에 해당하는 정보를 모두 포함하지 못한 자료, 기타 부정확하게 입력된 자료 등을 제외한 총 6,870건의 자료만을 연구에 적용하였다.

### 4.2 변수의 설정

변수는 자료의 형태에 따라 정량적 변수(quantitative variable)와 정성적 변수(qualitative variable)로 나뉜다. 정량적 변수는 변수의 속성을 수치로 표현할 수 있고 그 값이 의미가 있다. 반면, 정성적 변수는 변수의 속성을 범주(category)로 구분하기 때문에

그 값이 무의미하다. 본 연구에서 정량적 변수로는 부상자 수, 사고차량수를 적용했으며, 나머지는 변수는 정성적 변수로 구분했다. 또한, 정성적 변수들은 모두 더미변수(dummy variable)로 변환하여 분석에 적용하였다.

본 연구에서는 계절변수를 이전 연구에서 구분한 것처럼, 봄(03월 09일-06월 02일), 여름(06월 03일-09월 18일), 가을(09월 19일-11월 28일), 겨울(11월 29일-3월 8일)로 분류하였다(Chung et al., 2007). 또한, 시간대는 주간(07:01-18:00), 야간(18:01-07:00)으로 구분하였다. 사고원인은 운전자 요인(과속, 졸음, 주시태만, 안전거리미확보, 역주행, 적재불량, 추월불량, 운전자기타), 차량요인(타이어파손, 단독차량화재, 제동장치, 차량부품이탈, 차량기타), 도로 및 외부요인(노면잡물, 동물침입, 무단보행, 도로사정), 기타요인으로 구분하였다. Table 2는 본 연구에 적용된 변수와 변수의 특성을 나타낸 것이다.

## 5. Cox 모형 기반 교통사고 처리시간 추정모형 구축

### 5.1 Cox 모형 추정

모형의 구축방법은 일반 회귀모형의 추정 절차와 동일하다. 즉, Table 2에 제시된 모든 변수들을 모형의 후보 변수로 설정한다. 설정된 후보 변수들에 대하여 종속변수와의 관계를 로그 순위 검정(p-value  $\leq 0.20$ )을 통해 유의 후보변수를 선정한다. 선정된 유의 후보변수를 활용하여 초기모형을 구축한다. 이때 유의한 변수 선정을 위해 후보변수 선정 시 보다 엄격한 유의 수준을(p-value  $\leq 0.05$ ) 적용하였다. 한편, 초기 모형의 적용 과정에서 탈락되었던 변수가 새로운 초기모형에서는 유의한 변수로 선정될 수 있으므로 우도 비 검정을 사용해 추가 선정 여부를 판단하였다. 최종적으로 선정된 Cox 모형은 일반적인 회귀분석과 마찬가지로 모형의 적합성을 평가해야 한다. 본 연구에서는 모형의 적합성 검정을 위해 콕스-스넬 잔차(Cox-Snell residuals)를 사용하였다.

모형의 추정결과, 13개의 변수가 사고 처리시간에 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 3 참조). 채택된 인자 중 터널에서 발생한 사고, 사망자가 발생한 사고, 사고차량수, 사고 후 상태 전도, 화재가 발생한 사고, 완파된 차량이 발생한 사고, 화물(대형) 및 트레일러 사고, 야간사고는 사고 처리시간이 증가하는 요인인 것으로 나타났다. 반대로 톨게이트에서 발생한 사고, 차·시설 사고, 경사가 없는 평지 구간에서 발생한 사고는 사고 처리시간이 감소하는 요인인 것으로 나타났다.

### 5.2 추정된 모형의 평가

본 연구에서는 모형의 적합성 평가를 위해 콕스-스넬 잔차를 사용하였다. 콕스-스넬 잔차 방법은 생존분석 기법을 활용하여 모형을 추정한 경우, 모형의 적합성 평가에 주로 활용된다. 이

Table 2. Candidate Variables

Category	Variable		Category	Variable	
Crash time	Season	Spring, Summer, Fall, Winter	Crash characteristics	Number injured	0, 1, 2, 3
	Day	Monday, Tuesday, Wednesday, Thursday, Friday, Saturday, Sunday, Holiday		Number of involved vehicles	1, 2, 3+
				Vehicle state	Stop, Rollover, Overturn, Fire
	Time	Midday, Night		Vehicle damage	Completed, Half, Slight
Crash characteristics	Location	Tollgate, TG (High-pass), Ramp, Main line, Tunnel, Rest area	Environmental characteristics	Weather	Windy, Snowy, Sunny, Rainy, Foggy, Cloudy
				Road surface	Dry, Other, Wet, Snow
	Work zone	Work, Non-work			
	Cause	Driver factor, Vehicle factor, Other factors	Horizon	Straight, Curve	
	Crash type	Other, Vehicle to facility, Vehicle to vehicle	Geometric characteristics	Grade	Flat section, Uphill/Downhill
				Pavement condition	Bad, Good
				Median	Yes, No
	Car type	Passenger Car, Passenger Car (SUV), Van (Small-size), Van (Mid-size), Van (Large-size), Freight (Small-size), Freight (Mid-size), Freight (Large-size), Trailer, SEV*	Driver characteristics	Shoulder	Yes, No
				Gender	Male, Female
	Fatality	Non-occur Occur	Age	19 ↓ 20-29 30-39 40-49 50-59 60 ↑	

\*SEV (specially equipped vehicle) includes oversized loaded trucks and tow trucks towing a car.

Table 3. Estimated Cox Model for Crash Clearance Time

Category	Variable	Coefficient	p-value	Percentage change
Crash characteristics	Location: Tollgate	0.205	0.000	-22.8%
	Location: Tunnel	-0.158	0.015	14.7%
	Crash type: Vehicle to facility	0.146	0.000	-15.8%
	Fatality: Occur	-0.354	0.000	29.8%
	Number of vehicles involved: 1, 2, 3+	-0.077	0.000	7.4%
	Vehicle state: Rollover	-0.440	0.000	35.6%
	Vehicle state: Fire	-0.235	0.005	20.9%
	Vehicle damage: Completed	-0.377	0.000	31.4%
	Car type: Passenger Car	0.246	0.000	-27.8%
	Car type: Freight(Large-size)	-0.422	0.000	34.4%
	Car type: Trailer	-0.375	0.000	31.3%
Crash time	Time: Night	-0.107	0.000	10.1%
Geometric characteristics	Grade: Flat section	0.069	0.009	-6.7%

Initial log-likelihood: -53,831.233

Log-likelihood at convergence: -53,488.667

Number of crashes: 6,870

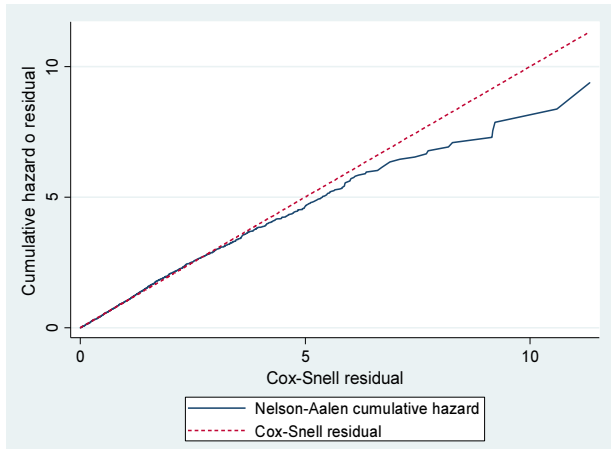


Fig. 2. Graph on Cumulative Hazard of Cox-Snell Residuals

방법은 누적위험 관측치가 기울기가 1인 그래프를 따라 형성될 경우 추정모형이 적합한 것으로 평가한다(Cleves et al., 2004). Fig. 2에서는 누적 위험 관측치가 마지막 부분에서 편차가 생겼지만, 그 방향이 기울기가 1인 선으로 향하고 있어, 구축된 모형이 대체로 교통사고 처리시간을 적절하게 반영하는 것으로 평가할 수 있다.

### 5.3 모형의 해석

모형의 분석결과, 사고원인 중 틀게이트에서 발생한 사고는 다른 사고에 비해 처리시간이 22.8% 줄어드는 것으로 나타났다. 일반적으로 틀게이트 부근에서 발생한 사고는 사고 처리반의 원활한 접근을 고려할 때, 매우 타당한 결과로 판단된다. 반대로 사고원인 중 터널에서 발생한 사고는 다른 사고에 비해 처리시간이 14.7% 오래 지속되는 것으로 나타났다. 터널의 경우, 도로가 완전히 분리되며, 일반 구간과 달리 갓길을 통한 주행도 불가능하다. 따라서 터널 구간에서 발생한 사고 처리시간이 길어지는 결과도 합리적으로 해석이 된다. 사고유형 중 차시설 사고는 다른 사고유형에 비해 처리시간이 15.8% 낮은 것으로 나타났다. 이 결과는 과거 연구 결과를 활용하여 해석이 된다. 즉, 사고 유형 중 차-차에 의한 사고는 견인으로 인한 시간손실이 발생하기 때문에 차시설 사고보다 처리시간이 긴 것으로 판단된다(Lee et al., 2012). 예상한 바와 같이 사망자가 발생했을 경우 그렇지 않을 때보다 처리시간이 29.8% 오래 지속되는 것으로 나타났다. 일반적으로 큰 규모의 인명피해 사고는 수습하는 과정에서 작은 규모의 인명피해 사고보다 처리과정이 어려워지기 때문에 처리시간이 늘어나는 것으로 판단된다. 사고 차량 수의 증가 또한 사고 처리시간에 영향을 주는 인자인 것으로 나타났다. 사고 차량 수가 1대 증가할 때마다 사고 처리시간은 7.4% 정도 지속되는 것으로 나타났다.

사고 후 전도 및 화재가 발생했을 경우 처리시간은 각각 35.6%, 20.9% 증가하는 것으로 나타났다. 사고 후 차량이 전도된 차량을

견인할 때는 사고 차량을 원상태로 회전시키는 시간이 추가적으로 필요하며, 화재가 발생한 차량을 견인하기 위해서는 화재진압에 추가적 시간이 필요하기 때문인 것으로 판단된다. 차량이 완파된 경우에는 반파 및 경미할 때보다 처리시간이 31.4% 오래 지속되는 것으로 나타났다. 이는 차량 전도와 마찬가지로 사고 규모가 처리시간에 영향을 미친 것으로 판단된다. 차량 유형 중 승용차 사고는 화물(대형), 트레일러를 포함한 다른 유형의 차량에 비해 처리시간이 27.8% 감소한 것으로 나타났다. 반대로 화물(대형) 및 트레일러의 사고는 다른 유형의 차량에 비해 처리시간이 각각 34.4%, 31.3% 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 큰 차량의 사고는 작은 차량에 비해 사고의 처리뿐 아니라 견인하는데 어려움을 겪기 때문에 처리시간이 오래 지속되는 것으로 판단된다. 또한, 위와 같은 차량의 사고는 다량의 노면 잡물이 발생할 수 있기 때문에 처리시간을 더욱 지연시키는 것으로 판단된다. 사고 발생시간은 주간 사고에 비해 야간 사고의 처리시간이 10.1% 늘어난 것으로 나타났다. 야간에는 주간에 비해 사고 처리 환경이 열악하기 때문인 것으로 판단된다. 평탄한 도로구간에서의 사고는 그렇지 않은 경우보다 처리시간이 6.7% 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과 또한, 사고 처리 과정에서의 작업 환경이 영향을 미치는 것으로 판단된다.

본 연구에서 부상자수는 유의수준 5%에 대한 모형에는 제외되었지만, 유의수준 10%에서는 의미가 있는 것으로 나타나, 사고 처리시간에 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다. 반대로 주/야간을 제외한 사고시간의 요인은 사고 처리시간에 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며, 사고환경은 사고 처리시간과 무관한 것으로 나타났다. 또한, 종단 구배를 제외한 기하구조 및 도로시설물들은 사고 처리시간에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

### 6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 2013년 한 해에 발생한 고속도로의 사고 자료를 이용하여 사고 처리시간에 영향을 주는 인자에 대해 분석하였다. 이를 위해 생존모형 중 준모수적방법인 Cox 모형을 적용하였으며, 추정된 모형의 결과는 다음과 같다. 터널에서 발생한 사고, 사망자가 발생한 사고, 사고차량수, 사고 후 상태 전도, 화재가 발생한 사고, 완파된 차량이 발생한 사고, 화물(대형) 및 트레일러 사고, 야간사고는 사고 처리시간을 증가시키는 요인으로 나타났다. 반대로 틀게이트에서 발생한 사고, 차시설 사고, 승용차 사고, 구배가 없는 평탄한 구간에서 발생한 사고는 다른 환경에서 발생한 사고보다 사고 처리시간을 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고속도로에서 사고 발생 시 혼잡에 영향을 줄 수 있는 사고 처리시간의 감소 전략 수립을 위한 기반정보로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 2013년 고속도로에서 발생된 교통사고 자료를 기반으

로 수행되었다. 최근 정보통신 기술 발전 속도, 고속도로 관리 기술의 발전 속도 등을 고려할 때, 현재 시점의 교통사고 발생 시 처리시간에 영향을 주는 인자는 변화되었을 가능성이 존재한다. 따라서 최신 교통사고 자료를 활용한 처리시간 추정 모형의 개발이 수행될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구는 수집된 사고의 특성 자료만을 활용하여 모형을 추정하였다. 그러나 주변 교통상황에 따라 교통사고 처리에 대한 환경은 달라질 수 있다. 따라서 교통사고 특성뿐 아니라 통행속도, 교통량 등 교통상황 정보가 포함된 모형의 추정이 향후에 진행될 수 있을 것이다. 마지막으로 본 연구에서는 적용의 용이성과, 해석의 용이성으로 준 모수적 방법인 Cox 모형을 적용하여 교통사고 처리시간에 대한 모형을 추정하였다. 그러나 기존 연구에서 활용되었던 다른 분석 모형을 적용한 모형과의 결과 비교 또한 흥미로운 연구 주제가 될 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 성과는 2017년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017R1A2B4008984).

## References

- Ahn, G., Hyun, C., Hong, G., Jeon, O. and Kim, H. (2014). *A study on prediction of traffic congestion clearance time based on UTIS: A case study of incident*, Korea Road Traffic Authority, Seoul, Korea (In Korean).
- Alkaabi, A., Dissanayake, D. and Bird, R. (2011). "Analyzing clearance time of urban traffic accidents in Abu Dhabi, United Arab Emirates, with hazard-based duration modeling method." *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2229, pp. 46-54.
- Chang, H.-L. and Chang, T.-P. (2013). "Prediction of Freeway Incident Duration based on Classification Tree Analysis." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 10, pp. 1964-1977.
- Chung, Y. (2010). "Development of an accident duration prediction model on the Korean freeway systems." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 42, No.1, pp. 282-289.
- Chung, Y., Song, S. and Choi, K. (2007). "A prediction model on freeway accident duration using AFT survival analysis." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 25, No. 5, pp. 135-148 (In Korean).
- Cleves, M. A., Gould, W. W. and Gutierrez, R. G. (2004). *An introduction to survival analysis using Stata*, Rev. edn (College Station, TX.: Stata Press).
- De Rose Jr., F. (1964). "An analysis of random freeway traffic accidents and vehicle disabilities." *Highway Research Record*, Vol. 59, pp. 53-65.
- Friedrich, M. and Lohmiller, J. (2012). "Factors influencing the travel time reliability of motorway sections." *In proceedings of the 6th International Symposium Networks for Mobility*, Stuttgart, Germany.
- Golob, T. F., Recker, W. W. and Leonard, J. D. (1987). "An analysis of the severity and incident duration of truck-involved freeway accidents." *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 19, No. 5, pp. 375-395.
- Goolsby, M. E. (1971). "Influence of incidents on freeway quality of service." *Highway Research Record*, Vol. 349, pp. 41-46.
- Ha, O., Park, D., Won, J. and Jung, C. (2010). "the prediction models for clearance times for the unexpected incidences according to traffic accident classifications in highway." *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, No. 1, pp. 101-110 (In Korean).
- Juge, J., Kennedy, K. and Wang, T. (1974). *Early detection and rapid removal of disabled vehicles and other hazards from the freeway*, California Department of Transportation and Department of California Highway Patrol.
- Khattak, A. J., Liu, J., Wali, B., Li, X. and Ng, M. (2016). "Modeling traffic incident duration using quantile regression." *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2554, pp. 139-148.
- Lee, K., Seo, I., Park, M. and Chang, M. (2012). "A study on the influencing factors for incident duration time by expressway accident." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 85-94 (In Korean).
- Lee, S., Han, D. and Lee, Y. (2015). "Development of freeway traffic incident clearance time prediction model by accident level." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 33, No. 5 pp. 497-507 (In Korean).
- Nam, D. and Mannering, F. (2000). "An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration." *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, Vol. 34, No. 2, pp. 85-102.
- Shin, C. (2004). "Development of decision-trees for freeway incident duration prediction." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 24, No. 5D, pp. 681-689 (In Korean).
- Shin, C. and Kim, J. (2002). "Development of freeway incident duration prediction models." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 20, No. 3, pp. 17-30 (In Korean).
- TRB (1994). *Highway capacity manual: special report 209*, Washington, D. C., Transportation Research Board, National Research Council.
- Wang, M.-H. (1991). *Modeling freeway incident clearance time*. In *Civil Engineering*, Master's Thesis, Northwestern University, Evanston, IL.