교통사고-인체상해 데이터베이스 기반 차량 탑승자 상해 중증도 영향요인 분석

정소영*

동양대학교 북서울캠퍼스 안전공학부 조교수

Examining Influential Factors on Injury Severities of Vehicle Occupants Based on In-depth Traffic Accident Database

JUNG, Soyoung*

Assistant Professor, School of Safety Engineering, Dongyang University, Gyeonggi 11307, Korea

*Corresponding author: jung2@dyu.ac.kr

Abstract

This study aims to examine influential factors on injury severities, especially severe injury versus fatality, involved in traffic accidents using crash type, vehicle damage, victim's medical records from in-depth traffic accident database. To complete the study aim, forward and backward formats for sequential logistic regression model and their areas under the receiver operation characteristic curves were compared to select the optimal model format. As a result, forward format outperformed backward format. In the forward format, pre-hospital emergency medical service (EMS) time was significant to increase the probability of fatality compared to that of severe injury by 540% if the EMS vehicle response time was longer than 24minutes. Driver carelessness as the main cause of traffic accident was also significant to increase the probability of fatality compared to that of severe injury by 380%. Based on the resultant findings, safety improvement strategies such as enhancing EMS vehicles, professionals, equipment for quick initial medical aid, and EMS priority signals could be recommended to reduce the pre-hospital EMS time. Implementing more rumble strips or supplemental rest areas would also be helpful to reduce driver's carelessness during driving. In addition, legislation for banning handheld phone, the relevant campaign or driver education program would be supportive to reduce the probability of traffic accident fatality as one of the safety improvement strategies. Combining the resultant findings and additional accident location information with GIS spatial clustering, this study would contribute to decision making for prioritizing future improvement policy implementation.

Keywords: in-depth traffic accident database, injury severities, pre-hospital EMS, safety improvement strategy, sequential logistic regression

초록

본 연구는 교통사고-인체상해 데이터베이스에 저장된 교통사고, 차량파손 자료 및 사고차량 탑승자의 심층 의료기록을 이용하여 사고 당시 탑승자가 중증 외상을 입었지만 생존하는 경우 대비 중증 외상 후 사망한 경우를 비교한 후, 탑승자의 생존 여부에 영향을 미치는 유의미한 요

J. Korean Soc. Transp.
Vol.36, No.4, pp.274-288, August 2018
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.4.274>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 25 May 2018

Revised: 18 July 2018

Accepted: 27 August 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.

인들을 분석하였다. 이를 위하여 본 연구는 Sequential Logistic Regression 모형의 두 포맷을 사용하여 외상 중증도를 예측하였고 Receiver Operation Characteristic 커브의 넓이를 비교하여 더 우수한 포맷을 선택하였다. 그 결과, Sequential Logistic Regression 모형의 Forward 포맷이 Backward 포맷보다 우수한 성능을 보였다. 특히, 병원 전 응급의료서비스 시간이 24분이 초과될 경우에 중증 외상 후 생존 대비 사망 확률을 약 540% 증가시키는 것으로 나타났다. 또한, 교통사고의 주 원인이 졸음이나 기기조작과 같은 운전자의 부주의일 경우, 중증 외상 후 생존 대비 사망 확률을 약 380% 증가시키는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 근거로 본 연구는 응급의료 구급차의 개수, 응급의료 처치 인력 및 장비 증가, 긴급차량 우선신호 시스템 운영, 럼블스트립 혹은 고속도로 졸음쉼터 증설, 운전 중 스마트폰 기기 제한 법제화 및 관련 캠페인, 운전자 교육과 같은 대안이 필요함을 제시하였다. 본 연구결과를 기반으로 사고장소의 위치정보를 추가적으로 통합하여 GIS공간 클러스터링으로 발전시킨다면 안전향상대책 시행의 우선순위 지역을 선정하는 근거로도 본 연구의 활용가치가 높을 것이다.

주요어: 교통사고-인체상해 데이터베이스, 외상 중증도, 병원 전 응급의료서비스, 안전향상대책, sequential logistic regression

서론

도로교통 사고비용 추계에 따르면, 2016년 한 해 동안 우리나라 도로교통사고 사상자는 사망 4,292명, 부상 1,846,937명으로 이는 교통사고로 인해 하루 평균 약 12명이 사망하고 5,046명이 부상당하고 있는 셈이다(Korea Road Traffic Authority, 2017). 특히, 교통사고로 인한 1인당 평균 사고비용은 사망자의 경우 4억 3,139만원으로 이는 중상자 5,917만원의 7배가 넘는다. 따라서 교통사고로부터 발생한 인적, 물적피해에 따른 막대한 사고비용을 줄이기 위해 사망자를 감소시키는 지속적인 노력이 필요하다. 교통사고 발생 이후 사망자를 줄이고 생존율을 높이려는 노력의 예로 정부는 의료기관과의 접근성이 떨어지는 고속도로에서 신속하게 중상자를 이송할 수 있도록 고속도로 구급대와 닥터헬기를 위한 헬리포트를 설치, 운영하고 있다. 또한, 국내 의료기관 인력과 시설의 규모에 따라, 위중한 응급환자를 치료할 수 있는 권역응급의료센터(2011년 기준 21개소) 및 중등도 응급환자를 치료하는 지역응급의료센터(2011년 기준 117개소)를 지정하여 적절한 응급의료서비스를 제공할 수 있도록 노력을 기울이고 있다.

실제로, 교통사고 직후 최종 의료기관에 도착하기 전까지 제공되는 병원 전 응급의료서비스의 신속성은 중상자의 생사에 큰 영향을 미치는 요인으로 주목받고 있다(Meng and Weng, 2013; Gitelman et al., 2013; Jung et al., 2016). 2014년 통계청 자료에 따르면 대표적인 지방부 도로인 고속도로의 국내 구급차량의 사고현장 평균 도착시간은 약 20분으로 도시부 평균 도착시간의 4배에 가까운 것으로 나타났다. 이는 교통사고에 의한 호흡 및 심정지와 같은 중증환자의 경우 골든 타임을 넘겨 Figure 1에서 보는 바와 같이 100% 사망에 이르게 하는 시간이다.

Figure 1. Golden hour principle

따라서 교통사고 직후 부상자의 상태에 따라 적절한 응급치료를 제공함과 동시에 중상자를 치료할 수 있는 인력과 시설을 갖춘 최종 의료기관까지 신속히 이동시키는 것이 사고 이후 중상자의 생존율을 높이는 관건이라 할 것이다. 그러나 최근까지 국내 교통사고 조사와 교통사고로부터 발생한 부상자의 치료기록이 별개로 다루어져 교통사고 중상자의 생사여부와 관련하여 사고 전 요인들과 사고 이후 의료서비스 공급과 관련된 요인들의 관계를 통합적으로 분석하는데 제한이 있었다. 이에, 본 연구는 최근 구축된 심층적 교통사고-인체상해 데이터베이스를 이용하여 교통사고에서 발생한 중증 외상 환자가 생존하는 경우와 사망하는 경우로 나누고, 각 경우에 영향을 끼치는 사고 전, 후 요인들을 통합하여 계량적으로 비교, 분석하는데 목적이 있다. 더불어, 이러한 분석 결과를 바탕으로, 교통사고 중상자의 사망률을 감소시키기 위하여 특히 사고 이후의 병원 전 응급의료서비스와 관련한 대안들을 제시하고자 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 본 연구는 2011년부터 2015년까지 5년간 충주 건국대학교 병원에서 의료 처치가 있었던 탑승자들의 인체상해, 차량변형 및 사고유형 데이터를 분석하였다. 특히 교통사고 중상자 중 사망한 경우와 생존한 경우를 구분하여 sequential logistic regression 모델링을 통하여 교통사고 탑승자 상해 중증도에 영향을 미치는 요인을 확인하였다.

선행연구

1. 교통사고 탑승자 상해 중증도 영향요인

구급차가 교통사고 현장에 도착하여 적절한 응급의료서비스를 공급하는데 필요한 시간과 부상자가 최종의료기관에 도착하는데 까지 필요한 시간은 교통사고 차량 탑승자의 부상 심각도에 의미 있는 영향을 끼친다고 알려져 있다(Qin et al., 2015). 특히, 사고 접보 시각으로부터 사고 현장에 구급차가 도착할 때까지 걸린 시간을 Emergency Medical Service (EMS) 반응 시간이라고 하는데 이러한EMS 반응 시간은 교통사고 부상자 생존율에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Highway Capacity Manual, 1994; Gitelman et al., 2013). Gitelman et al.(2013)의 연구에서는 EMS 반응시간은 최대 30분으로 밝히고 있는데 특히, 지방부 도로에서의 일어난 사고의 경우 지형, 응급 구조 전문가 부족, 노후 장비, 지역의 의료기관 부족 등이 생존율을 높이는데 걸림돌로 나타났다. 이를 뒷받침하는 결과로서 2011년 미국의 교통안전 실태조사에 따르면 사망자가 발생한 교통사고에 있어 미국 전체의 평균 EMS 반응시간은 도시의 경우 37분 가량으로 나타나 30분을 초과하는 EMS 반응시간은 부상자의 생존에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다(Traffic Safety Facts, 2013). 더불어EMS 반응시간에 영향을 미치는 요인들에 대한 결과도 발표되었는데 싱가포르에서는 교통류, 기상 및 사고지점의 특성이 싱가포르의 응급구조 차량의 EMS 반응시간에 가장 유의미한 영향을 미치는 것으로 드러났다(Lam et al., 2015). 또한 미국의 지방부 도로, 특히 공사구간에서 EMS 반응시간은 기상환경과 조명상태와 밀접하게 관련이 있는 것으로 나타났다(Meng and Weng, 2013).

반면, Malliaris et al.(1997), Bahouth(2003), Kononen et al.(2011)는 그들의 연구에서 교통사고로 인한 사고 차량 탑승자의 상해 중증도에 영향을 주는 사고 직전의 여러 요인들을 언급하였다. 이들 연구에서 상대적으로 큰 영향을 주는 것은 충돌 속도였으며 아울러, 사고의 속성정보가 신속하고 적절한 응급치료를 위한 의사결정에 도움을 줄 수 있다고 하였다. 이들 연구에서는 충격방향, 탑승자 나이, 안전벨트 착용, 에어백 전개도 탑승자의 상해 중증도에 영향을 주며 이러한 변수들은 교통사고 자동통보시스템을 통해 상세히 전달됨으로써 상해 중증도를 보다 정확하게 추정할 수 있게 한다고 하였다. 한편, 상해 중증도에 의미 있는 영향을 끼치는 몇 가지 특정 요인들에 주목하여 교통사고 차량 운전자의 상해 중증도를 추정한 선행 연구들도 있었다. Kim et al.(2012)의 연구에서는 3개의 국내병원에서 수집된 교통사고-의료기록 데이터에 기반한 차량 충돌 사고 76개의 사례에서 중증상해를 입은 87명의 교통사고 차량 탑승자를 대상으로 기술통계 분석을 시행하였다. 그 결과, 전복, 우측면 충돌 및 추돌사고의 각각의 경우에 따라 운전석 탑승자의 두 경부 손상의 중증도 차이가 확연함을 확인하였다. 더불어, 안전띠 착용 유무에 따른 탑승자 손상의 중증도에서도 통계학적으로 의미 있는 차이를 보였다. Park et al.(2017)의 연구에서는 교통사고 차량 운전

자의 성별 및 충격방향을 구별하여 운전자 신체부위 별 상해 중증도를 추정하는 모형을 개발하였다. 이들의 연구에서는 충격방향 별, 신체부위 별 남성과 여성운전자의 중상확률 변화는 비슷한 양상을 보이나, 좌측방 충격 교통사고의 가슴 중상확률은 남성 운전자가 높고, 전방 충격 교통사고의 배 중상확률은 여성운전자가 높은 것으로 나타났다. Conroy et al.(2008) 또한 충돌 방향, 특히 정면 충돌에 따른 차량 손상 분포가 운전자의 상해 중증도에 어떠한 영향을 미치는지 연구하여, 차량 손상이 넓게 분포된 편이 운전자의 상해 중증도를 낮춘다는 결과를 제시하였다.

2. 기존연구와의 차별성

본 연구는 경찰에 의한 교통사고 조사 데이터 뿐 만 아니라 기존 데이터에서 누락되었던 부상한 탑승자의 의료가 관 후송까지의 타임라인, 의료 처치, 탑승 차량의 파손 정보를 통합한 심층 데이터에(이후 본 연구에서는 교통사고-인체상해 데이터라 칭함) 의거하여 교통사고 중증 외상자의 생존과 사망을 가르는 요인들을 계량적으로 비교, 분석한 국내 최초의 연구이다. 관련하여 앞서 언급한 Kim et al.(2012)의 연구는 국내 교통사고-인체상해 데이터를 이용하였으나 차량 충돌방향에 따른 탑승자 상해 중증도의 기술통계 분석만을 수행한 상태로, 사고 이후 생존에서 사망의 결과로 이어질 수 있는 주요 영향 요인들, 특히 응급의료서비스 관련 변수들의 계량적 분석과 그 결과에 따른 대책수립 연구는 아직 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 심층적인 국내 교통사고-인체상해 데이터를 기반으로 일반적 로지스틱 회귀모형에서 벗어나 각 상해 중증도 예측 단계에서 변수의 종류를 다르게 선택할 수 있는 Sequential Logistic Regression 모형을 적용하여 중증 외상 대비 사망확률에 영향을 끼치는 요인들의 차이 비교에 중점을 두었다. 더불어 국내 교통사고로 인한 중증 외상자가 사망으로 이어지는 결과를 만드는 주요 요인에 근거하여 중증 외상으로부터의 생존율을 높이기 위한 대안들도 함께 제시한 차별성이 있다.

연구방법론

1. 모형선정

서론에서 밝힌 대로 본 연구의 목적 중 하나는 교통사고 차량 탑승자의 외상정도에 영향을 끼치는 주 요인을 분석하고, 특히 중증 외상 환자가 생존하는 경우와 사망하는 경우 어떤 영향요인들의 차이가 있는지 비교하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 교통사고 차량 탑승자의 외상 정도는 경상, 중증 외상을 당했으나 생존, 중증 외상 후 사망의 세 가지로 나누었고 이는 순서형 종속변수로 규정지을 수 있다. 순서형 종속변수와 독립변수의 관계를 규정짓는 회귀 모형으로는 대표적으로 순서형 로짓(ordered logit) 혹은 순서형 프로빗(ordered probit) 모형을 들 수 있는데 이들 모형은 종속변수의 각 순서 척도를 설명하는 독립변수의 추정된 패러미터 값이 동일하다는, 즉 proportional odds의 제한이 있다(Milton et al., 2008; Wang and Abdel-Aty, 2008). 본 연구는 교통사고로 인한 중증외상 환자가 생존하는 경우와 사망하는 경우에 어떠한 영향요인들이 차이를 보이는지 비교하는 것이 주요한 목적이기 때문에 전통적 순서형 로짓 혹은 프로빗 모형들의 특성과 본 연구의 목적과는 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 순서형 종속변수의 성격을 유지하면서도 종속변수의 각 순서 척도를 추정하기 위한 독립변수 조합이 서로 다를 수 있는 Sequential Logistic Regression (SLR) 모형을 사용하였다.

본 연구에서 사용한 종속변수인 교통사고 탑승자의 외상 중증도는 세 개의 레벨을 가지고 있기 때문에, 두 개의 단계를 통하여 외상 중증도를 나누어 SLR 모형을 추정하였다. 첫 번째 단계에서는 전체 데이터 샘플을 기반으로 이항로짓(binary logit) 모형을 적용하고, 두 번째 단계에서는 종속변수의 세 개의 순서척도 중 가장 낮은 혹은 가장 높은 척도를 제외한 데이터 샘플을 기반으로 하여 이항로짓 모형을 다시 구성한다. 각 단계에서는 외상 중증도가 보다 높은 척도를 1, 낮은 척도를 0으로 코딩하여 이항로짓 모형을 적용시켰는데, 종속변수의 순서 척도를 두 단계(stage)로 나누는 방법에 따라 두 개의 포맷이 있으며 각 포맷에서 탑승자의 외상 중증도 확률식과 함께 다음과 같이 나타낼 수 있다(Maddala, 1983).

Forward format: Stage 1 - 경상(0) vs. 중증 외상(1)

Stage 2 (경상샘플 제외) - 중증 외상 후 생존(0) vs. 중증 외상 후 사망(1)

$$P1 = 1 / \{1 + \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i)\} \quad (1)$$

$$P2 = \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i) / [\{1 + \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i)\} \{1 + \exp(\alpha_2 + \sum \beta_j X_j)\}] \quad (2)$$

$$P3 = \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i) \exp(\alpha_2 + \sum \beta_j X_j) / [\{1 + \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i)\} \{1 + \exp(\alpha_2 + \sum \beta_j X_j)\}] \quad (3)$$

Backward format: Stage 1 - 경상 혹은 중증 외상 후 생존(0) vs. 중증 외상 후 사망(1)

Stage 2 (중증 외상 후 사망 샘플 제외) - 경상(0) vs. 중증 외상 후 생존(1)

$$P1 = 1 / [\{1 + \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i)\} \{1 + \exp(\alpha_2 + \sum \beta_j X_j)\}] \quad (4)$$

$$P2 = \exp(\alpha_2 + \sum \beta_j X_j) / [\{1 + \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i)\} \{1 + \exp(\alpha_2 + \sum \beta_j X_j)\}] \quad (5)$$

$$P3 = \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i) / \{1 + \exp(\alpha_1 + \sum \beta_i X_i)\} \quad (6)$$

P1: 경상을 입을 확률, P2: 중증 외상을 입었으나 생존할 확률, P3: 중증 외상 후 사망할 확률, α_1 = Stage 1에서 추정된 상수, α_2 = Stage 2에서 추정된 상수, β_i = Stage 1의 유의미한 독립변수의 패러미터 세트, β_j = Stage 2의 유의미한 독립변수 패러미터 세트.

위 SLR모형의 두 포맷 중 예측 성능이 더 좋은 포맷을 선택하여 최적의 SLR 모형으로 구축하였다. 본 연구에서는 모형의 가장 중요한 성능 척도로서 ROC (Receiver Operation Characteristic) 커브의 밑면적(Area Under the Curve, AUC)을 이용하였다. ROC 커브는 1로 코딩된 케이스를 1로 정확히 예측한 비율인 민감도(Sensitivity)를 y축으로, 0으로 코딩된 케이스를 1로 잘못 예측한 비율인 1 - 특이도(Specificity)를 x축으로 그린 그래프이다(Gonen, 2006). 즉, ROC커브는 모형이 1로 예측하는 기준인 cut-off값을 연속적으로 변경시켜 민감도와 특이도의 전체적 변화를 한눈에 볼 수 있게 만든 성능 척도이다. ROC 커브의 AUC값이 1에 가까울수록 모형의 예측력이 우수하다고 볼 수 있다. 단, 상쇄관계인 민감도와 특이도의 특성으로 인해 AUC가 0.5를 초과해야 예측모형으로서 성능을 가진다고 할 수 있다(Bartolucci et al., 2016).

2. 분석 데이터

본 연구에서는 교통사고-인체상해 데이터베이스로부터 2011년부터 2015년까지 5년간 충주 건국대학교 병원에서 의료 처치가 있었던 탑승자들의 인체상해, 차량변형 및 사고유형 데이터를 분석하였다. 교통사고-인체상해 데이터 세트는 경찰에 의한 사고, 차량, 차량 운전자와 탑승자의 의료기록이 연결된 자료로서 크게 사고형태, 사고차량, 탑승자 의료처리, 그리고 사고 발생 이후 병원 전 응급의료시간에 관한 네 개의 필드로 구분되어 있다. 사고형태 필드에는 장소, 시간, 날씨, 추돌 형태와 대상, 주 원인 기록, 사고차량 필드에는 차량의 안전장치, 크기, 파손 정도, 탑승자 의료처리 필드에는 신체정보, 탑승위치, 외상정도, 진료결과 기록, 병원 전 응급의료시간 필드에는 구급차 도착시간, 현장 응급처치 시간 및 최종의료기관까지의 환자 이송시간 관련된 기록들이 포함되어 있다. 본 연구에서는 이들 필드에 포함된 기록들을 최대한 활용함과 동시에, 특히 본 연구의 목적에 의거하여 병원 전 응급의료와 관련된 변수, 선행연구에서 탑승자 부상의 중증도와 유의미하다고 밝혀진 요인 및 교통사고-인체상해 데이터 필드의 하부 카테고리 샘플 수를(30개 이상) 검토하여 변수들을 선정하였다.

3. 탑승자 및 자동차 손상분류

본 연구에서는 교통사고에 의한 인체상해 중증도를 구분하기 위하여 미국 자동차 의학 진흥 협회(Association for the Advancement of Automotive Medicine, AAAM)가 개발한 AIS (Abbreviated Injury Scale)와 ISS (Injury Severity Score)를 사용하였다. AIS는 인체의 손상부위를 여덟 부분(머리, 얼굴, 목, 가슴, 척추, 복부, 팔, 다리)으로 구분하고 그 손상정도를 다음과 같은 6개의 척도로 구분하였다(AAAM, 1998; Yang, 2014): minor (AIS 1), moderate (AIS 2), serious (AIS 3), severe (AIS 4), critical (AIS 5), maximum (AIS 6). 교통사고-인체상해 데이터 세트에는 사고 당시 인체의 여덟 가지 신체부위 별 AIS 값이 기록되어 있다(Conroy et al., 2008). AIS에 기반하여 널리 쓰이고 있는 인체상해 중증도 지표인 ISS는 인체의 상해가 큰 세 개 부위의 AIS 값의 제곱의 합으로 구한다(Baker et al., 1974). 교통사고 환자의 경우 ISS 값이 15를 초과할 때($ISS > 15$) 중증 외상으로 분류한다(Kusano and Gabler, 2014; Niebuhr et al., 2014). Table 1에서 제시한 바와 같이, 본 연구는 ISS값이 15 이하인 경우, 사고 당시 환자의 ISS값이 15를 초과하였으나 진료결과(한달 이내) 환자가 생존하는 경우, 사고당시 환자의ISS 값이 15를 초과하여 진료결과(한달 이내) 환자가 사망한 경우의 세 가지로 교통사고로 인한 인체상해 중증도를 분류하였다. 그 결과, 사망 케이스 30개, 중증 외상을 입었으나 생존한 케이스 51개, 경상인 케이스가 301개로 총 382개의 인체상해 샘플이 본 연구에서 분석되었다.

Table 1. Variable statistics

Class	Field (unit)	Filed category (variable)	Sample percentage
Occupant	ISS	$ISS \leq 15$	7.9
		$ISS > 15$ & survival	13.4
		$ISS > 15$ & death	78.7
	Age (years)	Less than 25	16.5
		25 to 64	67.0
		65 or greater than 65	16.5
	Gender	Female	41.9
		Male	58.1
	Seating position	Driver seat	53.9
		Front passenger seat	21.2
		Other passenger seats	24.9
	Seatbelt	Seatbelt worn	68.8
		Seatbelt not worn	31.2
Vehicle	Airbag	Airbag operated	19.4
		Airbag not operated	34.0
		Not exist	46.6
	Side airbag	Airbag operated	4.2
		Airbag not operated	31.4
		Not exist	64.4
	Vehicle type	Passenger car	51.0
		SUV/Van	30.1
		Bus	3.7
	Principal force	Truck	15.2
		Head-on (12o'clock) direction	34.0
		Rear-end (6o'clock) direction	12.3
		Sideswipe direction	43.5
	Impact area	More than single direction	10.2
		Single wide impact	72.8
		More than single wide impact	10.7
		Narrow impact	6.8
		Others	9.7

Table 1. Variable statistics (continued)

Class	Field (unit)	Filed category (variable)	Sample percentage
EMS time	Report to on-site time (min)	8 or less than 8	75.7
		Longer than 8	24.3
	Report to leaving scene time (min)	12 or less than 12	75.1
		Longer than 12	24.9
	Report to hospital arrival time (min)	24 or less than 24	75.7
		Longer than 24	24.3
Accident	Road type	Expressway	21.7
		National highway	8.4
		Rural arterial	12.6
		Local road	57.3
	Weather	Adverse weather (rain, snow, fog)	21.7
		Cloudy weather	7.3
		Clear weather	71.0
	Night	Accident occurred at night	29.8
		Daytime	71.2
	Collision type	Fixed object collision	19.4
		Non-fixed object collision	73.0
		Others	7.6
	Principal cause	Violation	15.2
		Under alcohol effect	12.8
		Weather	5.5
		Vehicle malfunction	3.7
		Driver careless	59.4
		Others	3.4

사고차량의 손상분류는 자동차 손상(Collision Deformation Classification, CDC) 코드를 이용하였다. CDC 코드는 Figure 2에서 보는 바와 같이 교통사고 충돌 시 힘의 주 방향, 수평 및 수직 방향으로의 차량 손상길이, 손상분포의 형태를 바탕으로 하여 차량의 변형정도를 알 수 있게 만든 일곱자리 표준이다(Society of Automotive Engineers, 1980). 본 연구에서는 기존의 교통사고 빈도 혹은 심각도 영향요인 분석연구에서 활용되고 있는 차량충돌 형태의 분류, 즉 정면 충돌(12시 방향), 후방 충돌(6시 방향), 측방 충돌(12시 및 6시 방향을 제외한 나머지 방향)를 고려하여 충돌 시 차량의 손상을 가져오는 힘의 주 방향에 해당하는 CDC코드를 변수로 사용하였다.

Figure 2. A descriptive example of crushed car by CDC code (Kim et al., 2012)

차량 손상분포 또한 인체상해에 영향을 미치는 선행연구에 근거하여 본 연구에서 변수로 이용하였다(Conroy et al., 2008). 즉, 각 교통사고-인체상해 데이터 세트에 기록된 CDC 코드를 참조하여 넓은 충격은 차량 앞부분 면적의 66% 이상의 넓은 범위의 손상분포를 보이는 경우로, 좁은 충격은 코너를 포함하지 않는 41cm 미만의 좁은 범위의 손상분포를 보이는 경우로 정의하여 이항변수로 사용하였다.

4. 병원 전 응급의료서비스 시간

교통사고 발생이후 부상자들이 얼마나 신속하게 적절한 의료서비스를 받을 수 있는가 하는 것은 사고 이후 부상자의 생사를 결정짓는 가장 큰 요인 중 하나이다. 특히, 선행연구에서도 밝힌 바와 같이, 응급구조 차량의 사고현장 도착 시간인 emergency medical service 반응시간(EMS response time)은 부상자 생존에 가장 큰 영향을 미치고 있다. 본 연구에서 사용된 교통사고-인체상해 데이터 세트에는 사고 발생시각과 더불어 병원 전 응급의료서비스(Pre-hospital Emergency Medical Service, Pre-hospital EMS) 시간이 기록되어 있는데 병원 전 응급의료서비스 시간이란 교통사고가 접보된 시점부터 구급차가 사고현장에 도착하여 응급처치를 시행하고 최종 의료기관(충주 건국대학교 병원)에 이르기까지 걸린 시간을 의미한다. 일반적으로 사고 발생시각으로부터 부상자의 치료를 위한 타임라인의 구성은 Figure 3에서 보는 바와 같다(Jung et al., 2016).

Figure 3. Temporal point for victim's injury care (NA not available in this study)

본 연구에서는 교통사고-인체상해 데이터 세트에 기록된 사고시점이 사고가 접보된 시각을 근거로 추정된 시각이었으므로 사고발생 시각이 명확하지 않아 제외하였다. 따라서 정확한 기록이 존재하는 사고 접보 시점으로부터 다음의 시점들까지 걸린 시간들을 고려하였다: 1) 구급차가 사고 현장에 도착한 시점, 2) 구급차가 현장에서 응급처치 완료한 시점, 3) 구급차가 최종의료기관에 도착한 시점. 사고가 접보된 시점부터 세 개의 시점들까지 소요된 시간들의 도수분포를 고려하여 각 소요된 시간의 75 분위 이하와 75 분위기를 초과한 값으로 카테고리를 분류하여 각 카테고리들을 이항변수로 사용하였다.

병원 전 응급의료시간을 비롯하여, 본 연구에서는 탑승자 외상 중증도를 종속변수로, 17개의 데이터 필드에서 52개의 하부 카테고리들을 독립변수로 포함한 총382개의 교통사고 차량 탑승자들의 인체상해 케이스를 분석에 활용하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 네 개의 class에서 도출된 17개 필드의 각 카테고리는 모두 이항변수로 코딩하여 독립변수로 사용하였다.

연구결과

본 연구에서는 두 가지 SLR포맷의 각 단계에서 종속변수인 탑승자의 외상 중증도와 각각의 이항변수와의 관계를 Bivariate Logistic Regression (BLR)으로 먼저 검토하고 그 결과 통계적으로 유의미한 이항변수들만을 포함한

Multiple Logistic Regression (MLR)으로 구축하였다. 그런 다음 MLR 모형에서 독립변수들 사이의 상관성을 제거하기 위해 주로 쓰이고 있는 Stepwise Selection 보다 성능이 좋다고 알려진 Backward Elimination을 반복 실행하여 종속변수에 유의미한 변수들만 MLR 모형에 최종적으로 남아있도록 하였다(Chatterjee et al., 2000). 본 연구에서는 보다 많은 변수들의 영향을 조사하기 위하여 유의미한 이항변수들을 선택하는 유의수준을 10% 이내로 설정하였다. 그 결과 SLR 모형의 최종 두 포맷은 다음과 같다.

1. 사고차량 탑승자 외상정도에 따른 영향요인 비교분석

Table 2와 Table 3에서 보는 바와 같이 SLR의 각 포맷 및 각 단계에서 모두 overall fit을 위한 P-value가 0.05 보다 훨씬 작은 값을 보이고 있는데 이는 두 포맷 모두 적절한 수준의 독립변수를 가지고 탑승자의 외상 중증도를 예측하는 의미 있는 모형임을 의미한다. 그러나 Figure 4와 Figure 5에서 보는바와 같이 ROC 커브의 AUC는 두 SLR 포맷 모두에서 0.77 이상으로 양호한 예측력을 보여주었으나, Forward Format이 두 단계 모두에서 Backward Format보다 더 높은 값으로 형성되었다. 특히 Forward Format의 두 번째 단계(Stage 2)와 Backward Format의 첫 번째 단계(Stage 1)는 중증 외상자가 사망하는 확률을 예측하는 단계로서 본 연구의 목적에 의거하여 예측의 정확성이 요구되는 단계인데 여기에서도 Forward Format의 ROC 커브의 AUC값은 0.773으로 Backward Format의 0.771보다 조금 더 높았다. 또한, Forward Format의 Stage 1의 ROC커브의 AUC값은 0.793으로 Backward Format의 Stage 2의ROC 커브의 AUC 값인 0.773보다 우위를 보여, 중증외상을 예측하는 성능에 있어서도 Forward Format이 더 정확성을 보여주고 있다. 이에, 본 연구에서는 SLR Forward Format을 교통사고 탑승자의 외상 중증도를 예측하는 최적모형으로 선택하였다. SLR의 Forward Format에 기반하여 아래와 같이 중증 외상 후 생존과 사망에 영향을 미치는 요인들을 비교, 분석 하였다.

Table 2. Resultant SLR forward format

Forward format					
Stage 1: ISS≤15, occupant survival vs. ISS>15, occupant survival					
Overall fit	Chi-squared value (ChiSq)	D.F.		Pr<ChiSq.	
	71.701	8		<0.0001	
	BIC value				
	286.724				
Maximum Likelihood Estimate	Variable	Coefficient	S.E.	P-value	Odds ratio
	Constant	1.256	0.47	0.008	3.51
	Seatbelt worn	-0.599	0.294	0.042	0.549
	Truck	0.997	0.38	0.009	2.711
	Side airbag not operated	-1.938	0.486	<0.0001	0.144
	Side airbag not exist	-1.000	0.368	0.007	0.368
	Rear-end impact	-1.647	0.777	0.034	0.193
	More than single impact points	1.147	0.412	0.005	3.147
	EMS response time≤8min	-0.902	0.296	0.002	0.406
	Local road	-0.802	0.283	0.005	0.448
Stage 2: ISS>15, occupant survival vs. ISS>15, occupant death					
Overall fit	Chi-squared value (ChiSq)	D.F.		Pr<ChiSq.	
	23.695	3		<0.0001	
	BIC value				
	105.060				
Maximum Likelihood Estimate	Variable	Coefficient	S.E.	P-value	Odds ratio
	Constant	-1.419	0.433	0.001	0.242
	Pre-hospital EMS time>24min	1.686	0.559	0.003	5.396
	Freeway	-2.466	0.894	0.006	0.085
	Driver careless	1.335	0.564	0.018	3.799

Table 3. Resultant SLR backward format

Backward format					
Stage 1: ISS>15, occupant death vs. Occupant survival regardless of ISS					
Overall fit	Chi-squared value	D.F.		Pr<ChiSq.	
	42.184	3		<0.0001	
	BIC value				
	203.778				
Maximum Likelihood Estimate	Variable	Coefficient	S.E.	P-value	Odds ratio
	Constant	-2.133	0.309	<0.0001	0.118
	Widely impacted at more than single point	1.708	0.492	0.001	5.515
	EMS response time≤8min	1.064	0.452	0.019	2.898
	Adverse weather	-1.869	0.437	<0.0001	0.154
Stage 2: ISS>15, occupant survival vs. ISS≤15, occupant survival					
Overall fit	Chi-squared value	D.F.		Pr<ChiSq.	
	44.374	6		<0.0001	
	BIC value				
	297.394				
Maximum Likelihood Estimate	Variable	Coefficient	S.E.	P-value	Odds ratio
	Constant	-1.513	0.308	<0.0001	0.22
	Front airbag not operated	-1.471	0.438	0.001	0.23
	Head-on impact	0.726	0.333	0.029	2.068
	On-scene time ≤12min	1.469	0.593	0.013	4.344
	Local road	-1.172	0.344	0.001	0.31
	Accident occurred at night	0.648	0.346	0.061	1.912
	Cause of accident from vehicle malfunction	1.065	0.643	0.098	2.901

Equation 2와 Equation 3을 비교했을 때, SLR Forward Format에서 중증외상을 입었으나 생존할 확률과 중증 외상을 입고 사망할 확률을 상이하게 만드는 것은 $\exp(\alpha_2 + \sum \beta_j X_j)$ 항으로 이는 SLR Forward Format의 Stage 2에서 확인된 유의미한 독립변수들의 집합이다. Table 2에 따르면 Stage 2에서 유의미한 변수들은 사고 정보 시점부터 최종 의료기관까지 환자를 이송하는 데 걸리는 시간인 Pre-hospital EMS 시간(EMS vehicle response time, on-scene time, transport time의 합), 사고 장소의 도로 유형 및 운전자 부주의 사고는 탑승자가 중증 외상 후 사망할 확률에 영향을 끼치는 유의미한 요인으로 확인되었다. 즉, 사고 정보 시점부터 최종의료기관까지 걸리는 시간이 24분을 초과하거나 운전자가 졸음, 음식물 섭취, 차량기기 및 스마트폰 조작으로 인하여 집중력이 떨어진 상황에서 운전 중 부주의가 교통사고의 주 원인인 경우에는 탑승자가 중상을 입고 사망할 확률이 매우 높아지는 결과로 나타났다. 두 요인 모두 약 5.4 및 3.8의 odd ratio 값을 보이고 있고, 이 결과는 사고 정보 시점부터 최종의료기관까지 걸리는 시간이 24분 이하 및 운전자 부주의가 주 원인인 경우, 중증상해를 입었으나 생존하는 경우 대비 탑승자가 사망하는 확률이 각 540%, 380% 더 크다고 할 수 있다. 반면, 교통사고가 고속도로에서 일어났을 경우 사망할 확률이 줄어드는 것으로 나타났다. 고속도로가 도심에서 떨어진 외곽지역에 있기 때문에 중증 외상자에게 응급의료서비스를 제공할 수 있는 권역응급의료센터 혹은 지역응급의료센터로부터 일반적으로 거리가 멀다는 것을 감안하면 이 결과는 다소 의외라고 볼 수 있다. 본 연구에 쓰인 데이터에서 고속도로와 유의미한 상관관계가 있는 변수는 부상자가 탄 차량 종류로 나타났는데 이는 상대적으로 크기가 큰 차량비율이 높은 고속도로의 특성으로 인해 크기가 큰 차량의 탑승자의 외상 중증도가 상대적으로 적은 것으로 추정된다.

SLR Forward Format의 Stage 1에서는 차량, EMS 시간 및 사고 유형과 관계된 다양한 요인들이 탑승자의 외상 중증도에 유의미하게 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 우선 사고차량이 트럭일 경우, 충돌 및 충돌 시 힘의 충격방향이 두 군데 이상일 경우에 탑승자가 중증 외상을 입을 확률이 증가하는 것으로 나타났다. 반면, Equation 1에서 볼 수 있듯이 Stage 1에서 확인된 유의미한 변수들은 상대적으로 경상을 입을 확률과 관계가 있는데 안전벨트를 맨 경우, 사이드 에어백이 없거나 작동되지 않았던 경우, 후방 추돌의 경우, 사고 정보 후 구급차가 사고현장에 8분 이내

에 도착하는 경우, 사고장소가 시내인 경우에 중증 외상을 입을 확률이 감소되는 것으로 나타났다. 특히, 본 연구결과에서 나타난 사이드 에어백의 영향은 다소 상식에 배치된다. 일반적으로 에어백은 교통사고 시 외부 충격으로부터 사람을 보호하는 차량 설비로 알려져 있지만, 에어백이 전개될 때의 충격이나 설치된 위치에 따라 사람이 2차 상해를 입는 경우도 있어 본 연구결과는 이러한 영향이 반영된 것으로 추정된다.

Figure 4. ROC curve for SLR forward format

Figure 5. ROC curve for SLR backward format

2. 사고차량 탑승자의 사망률 감소방안에 대한 고찰

교통사고 탑승자가 중증 외상 후 생존 대비 사망할 확률은 Equations 2, 3 및 Table 2에 제시한 바 대로 SLR Forward Format의 Stage 2에서 통계적으로 유의미한 변수들의 변화와 관련이 있는데 그 유의미한 변수에는 사고 접보 후 최종의료기관까지 이송시간(병원 전 응급의료서비스 시간) 과 운전자 부주의 요인이 포함되었다. 즉, 병원 전 응급의료서비스 시간이 24분을 초과하는 경우, 사고의 주 원인이 운전자의 부주의에 의해 사고가 난 것일수록 탑승자가 중증 외상 후 사망할 확률이 높아짐이 확인되었다.

일반적으로 사고현장으로부터 최종의료기관까지 환자가 이송되어 적절한 의료서비스를 받고 생존할 수 있는 골든 타임은 한 시간 이내로 알려져 있다(FHWA, 2015; Minge, 2013). 그러나 본 연구처럼 중증 외상을 입은 사고차량 탑승자의 경우에는 한 시간보다 더 신속하게 병원으로의 이송이 필요하다. 본 연구에서도 최종의료기관까지 후송시간이 24분을 초과하면 사망할 확률이 높아지는 결과로 나타나 중증외상의 경우 골든 타임보다 짧은 시간 내에 병원으로의 환자 이송이 필요함을 암시하고 있다. 본 연구에서 중증 외상을 입고 사망한 경우와 생존한 경우의 ISS 평균값은 공통적으로 27이었으나, 병원 전 응급의료서비스 시간이 24분을 초과한 케이스는 사망의 경우 30개 중 18개, 생존의 경우 51개 중 13개로 현격한 차이가 났다. 이는 교통사고 부상자가 생존하는 경우와 사망하는 경우의 외상 중증도에서는 큰 차이가 없으나 적절한 치료를 신속히 받지 못하면 부상자가 사망할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

중증외상과 함께 부상자가 사망한 케이스에서 병원 전 응급의료 서비스 시간이 24분을 초과하는 경우의 구급차의 평균 현장 도착 시간, 현장 응급처치 시간, 현장에서 병원도착 시간은 각각 20분, 5분, 14분으로 나타났다. 반면에 중증 외상을 입었으나 부상자가 생존한 케이스의 구급차의 평균 현장도착 시간, 현장 응급처치 시간, 현장에서 병원도착 시간은 각각 7분, 1분, 8분인 것으로 나타났다. 즉, 부상자 생존 대비 사망한 경우의 구급차 현장도착 시간과 현장 응급처치 시간은 각각 3배, 5배 정도 더 길게 소요되었다. 이 결과는 병원 전 응급의료 서비스 시간 중 특히 사고 접보 후 신속한 구급차의 현장에 도착과 현장에서 응급처치를 하는 시간을 감소시켜야 할 필요성을 내포하고 있다. 이러한 필요성을 충족시키기 위하여 119 구급대의 개수뿐 만 사고현장으로 출동하는 응급의료 처치 인력과 장비를 더 증가시켜 사고 접보 후 구급차의 현장도착과 응급처치 시간을 줄 일 수 있도록 해야 할 것이다. 더불어 119 구급차와 기존 신호 제어기를 연결하여 긴급차량 우선신호 시스템을 전국적으로 시행하여 교통혼잡의 영향없이 병원 전 응급의료 서비스 시간을 줄일 수 있도록 해야 할 것이다. 실제로 미국에서는 긴급차량 우선신호 시스템의 통행시간 감소 효과가 검증되어 78개 대도시에 있는 신호교차로 중 약 20%에 해당하는 교차로에서 긴급차량 우선신호 제어 시스템이 운영 중에 있다(Kim et al., 2017).

다음으로, 운전자가 운전 중 졸음, 음식물 섭취, 차량기기 및 스마트폰 조작으로 인하여 집중력이 떨어진 상태에서 부주의로 인한 사고 일 경우 탑승자의 사망 확률이 높아지는 결과가 나타났다. 따라서 교통사고로 인한 중증 외상 후 생존율을 높이기 위해 운전자가 운전 중 집중도를 높일 수 있도록 도로주변 안전시설 설치, 제도 및 교육적 노력이 필요하다. 예를 들면, 운전자의 졸음방지를 위한 럼블스트립 혹은 고속도로의 졸음쉼터 및 휴게소는 운전자의 집중도를 높일 수 있는 시설이라 할 수 있다. 이미 기존연구에서 길가 혹은 중앙선 럼블스트립을 통한 소음 및 차량의 진동뿐만 아니라 국내 고속도로에 설치된 졸음쉼터도 운전자의 졸음방지에 효과가 있는 것으로 확인되었다(Jung et al., 2017). 또한, 미국 캘리포니아 주는 2017년 운전 중 스마트폰 사용을 전면금지 하였는데 그에 앞서 손에 쥐는 휴대폰 사용의 법적 금지에 대한 교통사고 감소효과를 입증한 바 있다(Kwon et al., 2014). 이러한 결과를 근거로 국내에서도 운전 중 스마트폰 사용에 따른 법적 규제 방안을 마련하고 캠페인 및 운전자 교육의 강화 또한 운전 부주의에 의한 사망사고를 줄일 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다.

결론

본 연구는 경찰에 의한 교통사고 조사와 의료기관에 의한 부상자의 치료 정보가 통합되어 구축된 교통사고-인체상해 데이터베이스를 기반으로 교통사고 중상자의 생존과 사망에 영향을 미치는 유의미한 요인들을 계량적으로 비교, 분석하여 생존율을 높이기 위한 대안을 제시하고자 하였다. 특히 본 연구에 쓰인 데이터 세트는 기존의 교통사고 데이터 세트와는 달리 사고 차량 탑승자의 의료정보와 병원 전 EMS 시간 정보가 기록되어 있어 병원 전 EMS시간 관련 변수들과 중증 외상 후 생존 및 사망과의 관계에 보다 초점을 맞추었다. 이를 위하여 순서형 종속변수(경상, 중증 외상 후 생존, 중증 외상 후 사망)의 확률을 예측하는 데 있어 종속변수의 각 카테고리의 확률을 예측하는데 있어 상이한 독립변수 조합을 활용할 수 있는 SLR 모형의 두 포맷을 구축하였고 예측 성능 척도로서 ROC 커브의 AUC 값을 비교하여 우수한 SLR 포맷을 선택하였다.

그 결과, SLR의 두 가지 포맷 중 Forward Format이 Backward Format보다 외상 중증도를 예측하는데 있어 우수한 성능을 보였다. Forward Format의 Stage 1에서는 안전벨트 착용, 트럭, 사이드 에어백, 후방 추돌방향, 충격점의 개수, 사고 정보 후 구급차의 현장 도착까지 걸린 시간, 시내도로가 경상 대비 중증외상의 확률을 감소시키는데 유의미한 영향을 주는 요인들임이 확인되었다. Stage 2에서는 사고 정보 후 최종의료기관까지 부상자를 이송하는 시간, 고속도로, 운전자 부주의가 중증 외상 후 생존 대비 사망하는 확률에 유의미하게 영향을 주는 요인들로 확인되었다. 특히, 사고 정보 후 최종의료기관까지 환자의 이송 시간이 일반적인 골든 타임보다 훨씬 짧은 24분이 초과될 경우에 중증 외상 후 생존 대비 사망 확률을 약 5.4배나 증가시키는 것으로 나타났다. 더불어 교통사고의 주 원인이 졸음이나 기기조작과 같은 운전자의 부주의일 경우, 중증 외상 후 생존 대비 사망 확률을 약 3.8 배나 증가시키는 것으로 나타났다. 또한, 사고 정보 후 구급차가 8분 이내로 현장에 도착하는 경우 경상 대비 중증외상의 확률을 약 60% 감소시키는 것으로 나타났다. 이와 같은 SLR Forward Format모형의 결과를 근거로, 본 연구는 119 구급대의 개수 및 응급의료 처치 인력과 장비 증가, 긴급차량 우선신호 시스템 운영, 럼블스트립 혹은 고속도로 졸음쉼터 증설, 운전 중 스마트 기기 제한 법제화 및 관련 운전자 교육과 같이 교통사고로 인한 중증 외상 환자의 생존율을 높일 수 있는 대안을 제시하였다.

본 연구에 쓰여진 교통사고 부상자의 인체상해 데이터는 충주 건국대학교 병원에서 기록된 의료 정보이기 때문에 사고 장소가 대부분 충청북도에 한정되어 있고 단일한 지역응급의료센터의 데이터라는 제한점이 있었다. 따라서 중증 외상 후 생존율을 높일 수 있는 보다 일반적이고 통합적인 분석과 대책수립을 위하여 보다 많은 시간 동안 다양한 지역의 교통사고와 광역응급의료센터 혹은 지역응급의료 기관 등을 포함한 여러 등급의 의료기관 데이터를 통합하여 비교, 분석할 필요가 있을 것이다. 더불어, 교통사고-인체상해 데이터 세트에는 사고 장소가 기록되어 있어 각 사고 지점의 경, 위도 좌표를 알 수 있기 때문에 본 연구로부터의 외상 중증도 확률과 각 사고 지점을 연결하여 GIS공간 클러스터링으로 분석, 시각화 하면 안전향상 대책 시행의 우선순위 지역을 선정하는 연구로도 확장될 수 있을 것이다.

Funding

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2016R1D1A1B03930700).

ORCID

JUNG, Soyoung <http://orcid.org/0000-0001-9671-2114>

References

- Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) (1998), The Abbreviated Injury Scale, 1990 Edition, AAAM, Des Plaines, IL.
- Bahouth G.T. (2003), Development and Validation of Injury Predicting Algorithms for Automotive Applications, George Washington University School of Engineering and Applied Science, Doctoral Dissertation.
- Baker S.P., O'Neill B., Haddon W., Long W.B. (1974), The Injury Severity Score: A Method for Describing Patients With Multiple Injuries and Evaluating Emergency Care, *J. Trauma*, 14, 187-196.
- Bartolucci A., Singh K. O., Bae S. (2016), Introduction to Statistical Analysis of Laboratory Data, John Wiley & Sons, Inc.

- Bigdeli M., Khorasani-Zavareh D., Mohammadi R. (2010), Pre-Hospital Care Time Intervals Among Victims of Road Traffic Injuries in Iran: A Cross-Sectional Study, *BMC Public Health*.
- Chatterjee S., Hadi A., Price B. (2000), *Regression Analysis by Example*, John Wiley and Sons, New York.
- Conroy C., Tominaga G., Erwin S., Pacyna S., Velky T., Kennedd F., Sise M., Coimbra R. (2008), The Influence of Vehicle Damage on Injury Severity of Drivers in Head-on Motor Vehicle Crashes, *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1589-1594.
- FHWA (2015), U.S. Department of Transportation, Strategic Highway Safety Plan, http://safety.fhwa.dot.gov/hsip/resources/fhwasal102/flyr3_in.pdf.
- Gitelman V., Auerbach K., Doveh E. (2013), Development of Road Safety Performance Indicators for Trauma Management in Europe, *Accident Analysis and Prevention*, 60, 412-423.
- Gonen M. (2006), Receiver Operating Characteristic (ROC) Curves, *SUGI*, 31 Proceedings.
- Highway Capacity Manual (1994), TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- Jung S., Joo S., Oh C. (2017), Evaluating the Effects of Supplemental Rest Areas on Freeway Crashes Caused by Drowsy Driving, *Accident Analysis and Prevention*, 99, 356-363.
- Jung S., Qin X., Oh C. (2016), Systemwide Impacts of Emergency Medical Services Resources on Freeway Crash Severity, *Transportation Research Record* 2582, Transportation Research Board, Washington, D.C., 51-60.
- Kim S., Ko K., Park S., Jeong Y., Lee C. (2017), Adaptability Analysis of Emergency Preemption System in Field Operation, *Journal of Korea Institute of Intelligent Transport System*, 16(3), 95-109.
- Kim S., Lee K., Lee J., Choi H., Kim H. (2012), Pilot Study on Construction of a Database for In-depth Analysis of Occupant Injury and Vehicle Damage of Domestic Motor Vehicle Crash Accidents, *Journal of the Korean Society of Emergency Medicine*, 23(3), 315-326.
- Kononen D.W., Flannagan C.A.C., Wang S.C. (2011), Identification and Validation of a Logistic Regression Model for Predicting Serious Injuries Associated With Motor Vehicle Crashes, *Accident Analysis and Prevention*, 43(1), 112-122.
- Kusano K., Gabler H. (2014), Comparison and Validation of Injury Risk Classifiers for Advanced Automated Crash Notification Systems, *Traffic Injury Prevention*, 15(1), 126-133.
- Kwon O., Yoon Y., Jang K. (2014), Evaluating the Effectiveness of the Law Banning Handheld Cellphone Use While Driving, *Safety Science*, 70, 50-57.
- Lam S.S. et al. (2015), Factors Affecting the Ambulance Response Times of Trauma Incidents in Singapore, *Accident Analysis and Prevention*, 82, 27-35.
- Maddala G.S. (1983), *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*, Cambridge University Press, New York.
- Malliaris A.C., Digge K.H., DeBlois J.H. (1997), Relationships Between Crash Casualties and Crash Attributes, *Society of Automotive Engineers*, Paper 970393.
- Meng Q., Weng J. (2013), Uncertainty Analysis of Accident Notification Time and Emergency Medical Service Response Time in Work Zone Traffic Accidents, *Traffic Injury Prevention*, 14(2), 150-158.
- Milton J.C., Shankar V.N., Mannering F.L. (2008), Highway Accident Severities and the Mixed Logit Model: An

- Exploratory Empirical Analysis, *Accident Analysis and Prevention*, 40(1), 260-266.
- Minge E. D. (2013), NCHRP Synthesis of Highway Practice 451: Emergency Medical Services Response to Motor Vehicle Crashes in Rural Areas, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Niebuhr T., Junge M., Achmus S. (2014), Expanding Pedestrian Injury Risk to the Body Region Level: How to Model Passive Safety Systems in Pedestrian Injury Risk Functions, *Traffic Injury Prevention*, 15(5), 19-31.
- Park S., Yoo H., Jeong S., Chung K. (2017), Estimation of Driver Injury Severity in Traffic Collisions, *Journal of Transport Research*, 24(1), 1-15.
- Qin X., He Z., Samra H. (2015), Needs Assessment of Rural Emergency Medical Services, In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2513, Transportation Research Board, Washington, D.C., 30-39.
- Society of Automotive Engineers (SAE) (1980), Recommended Practice J224, Collision Deformation Classification, SAE, Warrendale, PA.
- Traffic Safety Facts (2013), 2011: A Compilation of Motor Vehicle Crash Data From the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System, DOT HS 811 754. NHTSA, U.S. Department of Transportation.
- Wang X., Abdel-Aty M. (2008), Analysis of Left-turn Crash Injury Severity by Conflicting Pattern Using Partial Proportional Odds Models, *Accident Analysis and Prevention*, 40(5), 1674-1682.
- Yang M. (2014), Introduction to the Tool to Classify the Severity Levels of Injury Patients, *Public Health Weekly Report*, 7(41), 917-920.