

## 교통사고 운전자 상해 중증도 추정

박상조\* · 유형목\*\* · 정소담\*\*\* · 정경민\*\*\*\*

### Estimation of Driver Injury Severity in Traffic Collisions

Park, Sangjo (Research Fellow, The Korea Transport Institute)

Yoo, Hyungmok (Researcher, The Korea Transport Institute)

Jeong, Sodam (Researcher, The Korea Transport Institute)

Chung, Kyungmin (Associate Research Fellow, The Korea Transport Institute)

#### I 서론

#### II 기존 연구 고찰

1. 교통사고 부상자 상해 중증도 기준
2. 교통사고 부상자 상해 중증도 추정

#### III 운전자 상해도 추정 모형 개발

1. 모형의 구조
2. 자료 분석
3. 모형 추정 결과

#### IV 운전자 상해도 추정 모형 평가

1. 교통사고 증상예측 정확도 평가
2. 교통사고 자동통보체계 적용성 평가

#### V 결론

2016년 10월 31일 접수, 2016년 12월 27일 최종수정, 2017년 1월 12일 게재확정

\* 한국교통연구원 연구위원(주저자)

\*\* 한국교통연구원 연구원(교신저자)

\*\*\* 한국교통연구원 연구원

\*\*\*\* 한국교통연구원 부연구위원

## Abstract

자동차에 설치된 장치가 교통사고의 발생을 인식하고 응급기관으로 통보하는 교통사고 자동통보체계는 사고 발생, 사고위치와 교통사고 피해자의 상해정도에 대한 정보를 제공함으로써 사고현장에서의 응급치료와 적절한 이송 의료기관 선정에 도움을 줄 수 있다. 교통사고로 인한 운전자 상해의 중증도는 사고 특성, 차량 특성, 운전자 특성, 안전장비 착용에 영향을 받는다. 본 연구에서는 충격방향, 충돌속도에 따라 운전자의 상해부위와 상해정도가 달라짐에 주목하여 충격방향별로 8개 신체부위의 상해 중증도를 추정하는 모형을 개발하였다. 교통사고 조사자료와 사고피해자 의료기록을 수집한 미국 NASS-CDS 자료를 이용하였으며 로지스틱 회귀분석 기법을 적용하였다. 충격방향에 따라 충돌속도가 운전자 상해중증도에 미치는 영향을 신체부위별로 상이하다. 운전자 신체부위를 구분한 모형은 주요 부위의 증상 발생을 정확하게 예측할 수 있으므로 응급의료 지원을 위한 교통사고 자동통보체계의 사고분석에 유용하게 적용될 수 있다.

■ 주제어: 교통사고 자동통보, 운전자 상해 중증도, 충돌속도, 충격방향, 로지스틱회귀분석

An automated collision notification system installed in vehicles could inform emergency response teams of the crash and its' severity. Tracking information and recognition of the extent of injuries would assist in prompt arrival of appropriate teams to the crash site and transfer to corresponding medical facility. Traffic collision injury severity is dependent on crash attributes, driver characteristics, and usage of seat belts. Noting injuries differ according to principal direction of force, the probabilities of severe injury for eight body regions are estimated by logistic regression analysis. NASS-CDS data including crash attributes and medical records are used for logistic regression model estimation. The effect of injury severity varies with principal direction of force, body region, and gender. Accuracy of injury severity predictions are based on a model. Such a model incorporated in the Automatic Crash Notification System can produce injury information related to crash attribute data assisting in emergency response.

■ Keywords: Automatic Crash Notification, Driver Injury Severity, Delta V, PDOF(Principal Direction of Force), Logistic Regression

## I. 서론

2015년 교통사고로 인하여 4,621명의 사망자와 350,400명의 부상자가 발생하였다.<sup>1)</sup> 교통사고는 국가적으로 아홉 번째의 사망원인이다. 질환으로 인한 사망자가 적은 40대 미만의 연령대에서는 교통사고가 자살, 암과 함께 3대 사망원인으로 보고되고 있다(통계청, 2016).

세계보건기구는 교통사고 상해의 위험요인을 교통사고 발생 전, 발생 중, 발생 후 3단계로 구분하였는데, 교통사고 발생 후의 위험요소로 교통사고 감지 및 부상자 의료기관 이송에서 발생하는 지체, 사고현장에서의 화재, 위험물 유출, 승객 구출 및 대피의 어려움, 병원 전 또는 응급실에서의 적절한 치료의 부족을 제시하고 있다.<sup>2)</sup>

교통사고 발생 후의 위험요소를 줄이기 위한 방법으로 제안된 것이 교통사고 자동통보<sup>3)</sup>이다. 교통사고 자동통보는 차량에서 교통사고 발생정보와 위치정보를 응급구난기관으로 자동전송하여 신속한 응급대응을 가능케 함으로써 피해자의 생명을 살리고, 부상으로 인한 장애를 줄일 수 있다.

교통사고 자동통보체계는 교통사고의 발생을 알려줄 뿐만 아니라, 교통사고에 대한 자료를 제공한다. 이러한 자료에 대한 분석을 통해 추정한 교통사고 피해자의 상해도는 현장에서의 응급조치, 적절한 이송 의료기관 결정에 도움을 줄 수 있다.

Malliaris 등(1997), Bahouth(2003), Kononen 등(2011) 등의 연구자들은 이러한 가능성에 주목하여 교통사고 발생 시 탑승자의 상해도를 결정하는 요인을 분석하고, 교통사고 자동통보체계에 적용할 수 있는

탑승자 상해도 추정 알고리즘의 개발을 모색하였다.

교통사고에서 충격방향과 탑승자의 좌석위치에 따라 충격이 가해지는 신체부위가 다르므로, 좌석위치, 신체부위에 따라 탑승자의 상해에 미치는 영향이 상이할 것으로 예상된다. 교통사고로 인해 손상된 신체부위에 대한 정보는 현장에서의 응급처치, 의료기관에서의 응급치료에 유용하지만, 기존의 연구는 탑승자의 위치와 부위별 상해를 구분하지 않았다. 본 연구에서는 탑승자 중 운전자의 신체부위별 상해도를 차량 센서가 수집할 수 있는 사고자료로 유의하게 추정할 수 있는 모형을 개발하고, 교통사고 자동통보체계의 증상 발생 예측에 활용할 수 있는지 검토하고자 한다.

## II. 기존 연구 고찰

### 1. 교통사고 부상자 상해 중증도 기준

교통사고 피해자에 대한 현장 응급처치, 피해자가 적절한 치료를 받을 수 있는 의료기관과 이송수단을 결정하기 위해서는 교통사고로 인한 손상의 중증도 판단이 필요하다.

응급의료 분야에서 외상환자의 손상 중증도 판단에 사용하는 도구는 생리학적 지표, 해부학적 지표, 혼합(해부·생리학적) 지표로 구분된다(황지영 등, 2014). 생리학적 지표는 의식 수준, 수축기 혈압, 분당 호흡수 등 생체지표에 기반하고, 해부학적 지표는 신체부위별 손상의 유형과 정도를 표현한 약식 상해등급(AIS; Abbreviated Injury Scale)에 기반한다.

1) 한눈에 보는 교통사고통계, 교통사고분석시스템(<http://taas.koroad.or.kr>)[2016.10.10].

2) World Health Organization(2006)

3) 미국에서는 ACN(Automatic Collision/Crash Notification) 또는 ACR(Automatic Crash Response), 유럽에서는 eCall, 러시아에서는 ERA(Accident Emergency Response)로 불린다. 한국에서는 e-Call로 명명하고 도입을 추진하고 있다.

AIS는 미국자동차의학진흥협회(AAAM, Association for the Advancement of Automotive Medicine)가 자동차사고에 의한 손상 중증도와 유형을 구분하기 위해 개발하여 1971년 미국의사협회지에 소개한 것으로 국내·외에서 교통사고 조사분석에 사용되고 있다(분당서울대병원, 2016). AIS는 손상부위를 <표 1>과 같이 9개 부위로 구분하고 상대적인 손상의 정도를 <표 2>과 같이 6점 척도로 표현한다.

<표 1> AIS 신체부위 code

AIS code	신체 부위
1	Head(머리)
2	Face(얼굴)
3	Neck(목)
4	Thorax(가슴)
5	Abdomen(배)
6	Spine(등, 척추)
7	Upper Extremity(팔)
8	Lower Extremity(다리)
9	External and Thermal Injury(피부, 화상)

자료: 양미애(2011), p. 918.

<표 2> AIS 상해도 code

AIS code	상해도	사망 확률(%)
1	Minor	0
2	Moderate	1-2
3	Serious	8-10
4	Severe	5-50
5	Critical	5-50
6	Maximal	100

자료: 양미애(2011), p. 918.

AIS에 기반한 손상중증도 지표에는 최대상해등급(MAIS, Maximum Abbreviated Injury Scale)과 손상정도계수(ISS, Injury Severity Score)가 있다.

MAIS는 상해가 가장 큰 부위의 AIS 값이고, ISS는 손상이 큰 3개 부위의 AIS 값의 자승의 합으로 구한다.

$$ISS = AIS(r_1)^2 + AIS(r_2)^2 + AIS(r_3)^2 \quad (\text{식 1})$$

교통사고 환자의 경우, MAIS 3 이상 또는 ISS 15 이상의 경우 중증손상으로 분류한다(Sasser, 2009).

## 2. 교통사고 부상자 상해 중증도 추정

Malliaris 등(1997)은 교통사고 발생 시 차량 탑승자가 사망할 확률, 탑승자의 상해 중증도가 MAIS 3+ 이상일 확률, 탑승자의 상해 중증도가 MAIS 2+ 일 확률을 구하는 로지스틱회귀모형을 개발하고, 교통사고 인명피해에 영향을 주는 사고속성을 분석하였다. 교통사고로 인한 상해 중증도에 가장 큰 영향을 주는 것은 충돌속도(Delta V)이며, 충격방향(PDOF, Principal Direction of Force), 탑승자 나이, 안전벨트 착용, 에어백 전개도 영향을 준다고 하였다. 아울러, 사고속성정보가 신속하고 적절한 응급치료 의사결정에 도움을 줄 수 있다고 하였다.

NHTSA(2001)은 교통사고 자동통보체계(ACN, Automated Collision Notification) 현장시험을 통해 교통사고정보가 응급의료반 현장출동에 유용한 정보를 제공할 수 있다고 하였다. 아울러, 교통사고로 인한 탑승자의 상해는 차량 크기, 차량속도, 충격유형(전방/후방/측면/전복), 탑승위치, 안전장치(안전벨트, 에어백)에 의해 결정된다고 하였다.

Bahouth(2003)는 교통사고 상해에 영향을 미치는

<표 3> 교통사고 상해에 영향을 끼치는 요소

Impact Characteristics	Vehicle Outcome	Occupant Factor	Restraint Systems
Delta V	Intrusion	Age	Seat Belt Usage
Crash Mode/	Maximum Crush	Gender	Airbag Deployment
Direction of Force	Multiple Crush	Height	
Multiple Impacts	Steering Deformation	Weight	
Narrow Object Crash	Seat Track Position	Seating Position	
	Ejection		

자료: Bahouth(2013), p. 53.

요소를 <표 3>과 같이 충돌 특성, 차량 손상, 승객 특성, 안전장비로 구분하여 도출하고, 이 요소를 독립변수로 포함하는 상해도 추정모형을 개발하였다.

Bahouth(2003)는 교통사고 피해자의 상해 위험도가 충격방향(Direction of Force)에 따라 달라짐에 주목하고 전방, 측방(좌·우), 후방충격을 구분하여 충격방향별로 상해 위험도 추정 모형을 구축하였다.

$$P_{PDOF}(MAIS\ 3+) = \frac{1}{(1 + \exp(-w))} \quad (\text{식 } 2)$$

$$\text{여기서 } w = \beta_o + \sum_i \beta_i x_i$$

Bahouth(2003)는 충돌속도(Delta V)가 상해 중증도에 가장 큰 영향을 끼치는 변수지만, 교통사고 자동통보체계가 승객 특성, 안전장비 등의 정보를 이용할 수 있다면 상해 중증도를 보다 정확하게 추정할 수 있다고 검토하였다.

Kononen 등(2011)은 미국 CDC(Center of Disease Control and Prevention) 전문가 모임의 권고<sup>4)</sup>에 따라 중증상해 기준을 ISS 15+로 설정하고, 로지스틱 회귀모형을 구축하여 충돌속도, 충돌수, 충격방향, 차종, 나이, 성별, 안전벨트 착용이 상해 중증도에 미치는 영향을 분석하였다. 충돌속도, 안전벨트 착용, 나이(55세 이상), 충격방향이 교통사고 상해 중증도를 결정하는 주요 변수라고 하였다.

### III. 운전자 상해도 추정 모형 개발

#### 1. 모형의 구조

교통사고 발생 시 차량의 충돌속도에 따라 탑승자에게 가해지는 충격의 크기가 결정되고, 차량의 충격방향, 탑승자의 위치에 따라 충격이 가해지는

신체부위가 달라진다. 기존의 연구는 탑승자의 위치별, 부위별 상해도를 고려하지 않았다.

본 연구에서는 탑승객의 부위에 따른 상해특성을 반영할 수 있도록 모형을 구성하였다. 좌석위치에 따른 영향을 배제하기 위해 운전자를 대상으로 모형을 구축하였고, 운전자의 성에 따른 상해 특성을 반영할 수 있도록 운전자 성별을 구분하였다.

사고차량을 충격방향별로 구분하고 충돌속도에 따른 성별, 부위별 운전자 중증상해 확률을 추정하는 이진선택 로지스틱회귀모형(logistic regression model)을 구성하였다. 신체 부위는 AIS code 9개 부위 중 화상을 제외한 8개 부위로 구분하고, 부위별 중증상해의 기준은 AIS 3 이상으로 정하였다.

충격방향(PDOF)에 따라 구분한 성(Gender)·부위(Body Region)별 중증상해 확률,  $p(AIS_{BR}^G \geq 3)$ 을 종속변수로, 충돌속도( $\Delta V$ )를 설명변수로 설정한 로지스틱 회귀모형은 식(3)과 같이 구성된다.

$$P_{PDOF}(AIS_{BR}^G\ 3+) = \frac{1}{(1 + \exp(-w))} \quad (\text{식 } 3)$$

$$\text{여기서 } w = \beta_o + \beta_1 \cdot \Delta V$$

신체부위를 구분하지 않은 기존 모형과의 비교를 위해 중증상해의 기준을 MAIS 3 이상( $P_{PDOF}(MAIS^G\ 3+)$ ), ISS 15 이상( $P_{PDOF}(ISS^G\ 15+)$ )으로 설정한 로지스틱 회귀모형도 함께 구축하였다. 아울러, 충격방향을 구분하지 않고 범주형 설명변수로 설정한 모형도 구축하여 모형 평가에 사용하였다.

$$P(ISS^G\ 15+) = \frac{1}{(1 + \exp(-w))} \quad (\text{식 } 4)$$

$$\text{여기서 } w = \beta_o + \beta_1 \cdot \Delta V + \beta_2 \cdot PDOF$$

4) Sasser et al.(2009).

## 2. 자료 분석

모형의 매개변수( $\beta_0, \beta_1$ )를 추정하기 위해서는 충돌속도, 충격방향 등 교통사고 특성, 교통사고 피해자의 부위별 상해도에 대한 조사자료가 필요하다. 국내에는 교통사고를 조사·분석하고, 인명피해를 상세하게 조사한 자료가 구축되어 있지 않아, 미국의 NASS-CDS(National Automotive Sampling System-Crashworthiness Data System) 자료를 사용하였다.

NASS-CDS는 미국 교통부 교통안전국(NHTSA)이 경찰에 의해 보고된 자동차 교통사고 중 전체 교통사고를 대표할 수 있도록 지역, 사고차종, 사고유형에 따라 층화추출(stratified sampling)한 교통사고(연간 4,700건)를 대상으로 심층조사하는 자료조사체계로 사고현장조사, 차량파손조사뿐만 아니라, 교통사고 피해자 의료기록조사, 피해자 면담, 사고 재구성을 통해 자료를 구축한다(GAO, 2015).

NASS-CDS 자료의 구성은 <표 4>과 같다.

<표 4> NASS-CDS 자료의 구성

Category	Data
General	Crash Date Number of Vehicles Mortality / Injury Severity
Vehicle	Make / Model / Model Year Body Category
Vehicle Damage	Plane of Impact PDOF, Rollover Delta V
Occupant	Age / Sex Seat Position Height / Weight
Injury	Body Region AIS/NASS Code, Maximum AIS, ISS
Restraint Use	Manual / Automatic Belt Available Air Bag Location / Deployed Child Seat Used

자료: NASS CDS XML Case Viewer  
(<http://www-nass.nhtsa.dot.gov/nass/cds-preliminary/>).

본 연구에서는 충돌속도, 충격방향이 운전자의 부위별 상해 중증도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 NASS-CDS 중 사고특성(충격방향과 충돌속도)과 운전자부상(부위, 상해도) 자료를 추출하였다. 차종(Vehicle Body Category)이 탑승자 상해도에 미치는 영향을 제거하기 위하여 승용차 자료만 추출하였다.

운전자 성별, 충격방향별로 로지스틱 회귀분석모형 구축을 위한 최소표본을 확보하기 위하여 최근 6개년(2009~2014년)의 NASS-CDS 자료를 사용하였다.<sup>5)</sup>

분석에 사용한 교통사고자료는 3,217건(남성운전자 1,371건, 여성운전자 1,846건)이며, 운전자가 사망한 사고는 88건(2.7%), 운전자가 중상(사망 포함)을 입은 사고는 ISS 15+ 기준 271건(8.4%), MAIS 3+ 기준 399건(12.4%)이다(<표 5> 참고).

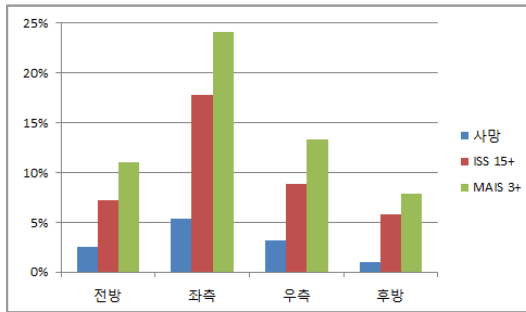
<표 5> 충돌방향별 교통사고 차량 운전자 사망, 중상 분포

단위: 대, 건, %

충격방향	사고차량	사망	중상 이상	
			ISS 15+	MAIS 3+
전방	2,256	57	163	249
		2.5	7.2	11.0
좌측	353	19	63	85
		5.4	17.8	24.1
우측	315	9	28	42
		2.9	8.9	13.3
후방	293	3	17	23
		1.0	5.8	7.8
계	3,217	88	271	399
		2.7	8.4	12.4

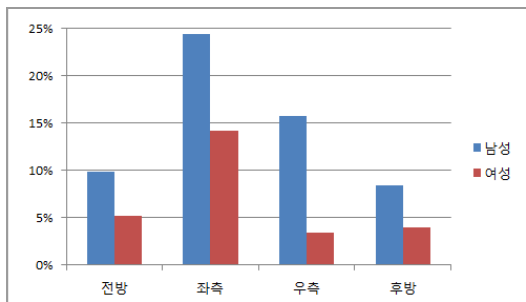
<그림 1>은 충격방향에 따라 운전자의 상해 수준이 어떻게 달라지는 지 보여준다. 자동차의 좌측면에 충격이 가해진 교통사고의 상해도가 가장 높고, 후방에 충격이 가해진 교통사고의 상해도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

5) 로지스틱 회귀분석모형 계수추정에 최우추정법을 적용하기 위해 100개 이상의 표본이 필요(홍세희, 2005).



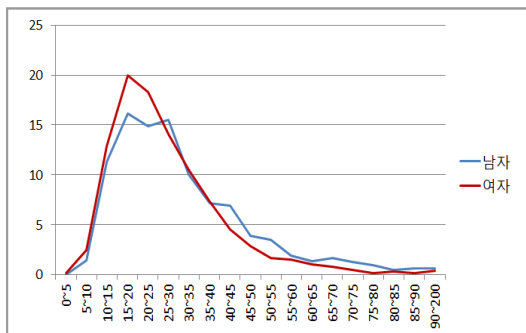
〈그림 1〉 충격방향별 교통사고 운전자 증상 비율

운전자의 성별에 따라 사망·중상자 발생비율이 달라지는데, 충격방향별로 남·여 운전자의 ISS 15+ 기준 증상비율을 비교하면 <그림 2>와 같다.



〈그림 2〉 충격방향별 남·여 운전자 증상(ISS 15+) 비율

남성 운전자의 사망·중상 비율이 높은 것은 남성 운전자의 충돌속도가 더 큰 것에서 기인하는 것으로 추정된다(〈그림 3> 참고).



〈그림 3〉 남·여 운전자 충돌속도 분포(단위 : km/h)

남·여 운전자의 충격방향·신체부위별 증상 발생 건수를 정리하면 <표 6>, <표 7>과 같다.

<표 6>, <표 7>에서 음영으로 표시된 셀은 표본에 충격방향에 따라 증상이 발생하지 않은 부위가 있는 경우를 나타낸다. 충격방향에 따라 특정 신체 부위의 상해가 발생하는 확률이 낮고, 해당 부위의 증상확률을 추정하는 로지스틱 회귀분석을 수행할 수 없다는 것을 의미하므로 모형을 추정할 수 없다.

〈표 6〉 충격방향·신체부위별 남성 증상 발생건수

단위: 건

상해부위	충격방향			
	전방	좌측방	우측방	후방
	986	127	140	118
머리	71	15	18	6
얼굴	2	1	0	0
목	21	4	2	3
가슴	91	29	14	3
배	25	5	3	1
등	13	0	2	1
팔	2	0	1	1
다리	1	0	0	0
ISS 15+	97	31	22	10
MAIS 3+	146	40	30	12

〈표 7〉 충격방향·신체부위별 여성 증상 발생건수

단위: 건

상해부위	충격방향			
	전방	좌측방	우측방	후방
	1,270	226	175	175
머리	40	26	6	6
얼굴	1	0	0	0
목	6	6	0	1
가슴	60	27	5	5
배	20	8	2	0
등	5	0	1	1
팔	2	0	0	0
다리	1	0	0	0
ISS 15+	66	32	6	7
MAIS 3+	103	45	12	11

### 3. 모형 추정 결과

로지스틱 회귀모형을 추정할 수 없는 신체부위를 제외하고, 남·여 운전자의 충돌방향에 따른 신체부위별 상해도 추정 로지스틱 회귀모형(식(3))의 계수( $\beta_0, \beta_1$ )를 최우추정법으로 추정한 결과 및 검정통계량을 정리하면 <표 8>~<표 15>와 같다.

검정통계량인 우도비(likelihood ratio), Score, Wald 값이 0.05를 넘는 경우, 충돌속도( $\Delta V$ )가 운전자 상해 중증도를 유의하게 설명할 수 없다.

예를 들어, 좌측방에서 충격을 받은 차량의 남성 운전자의 경우(<표 9>), 머리와 가슴의 상해 중증도는 충돌속도가 커짐에 따라 높아진다고 말할 수 있고 추정된 계수를 이용하여 중상확률을 추정할 수 있으나, 얼굴, 목, 배의 상해 중증도는 충돌속도로 유의하게 추정할 수 없음을 의미한다.

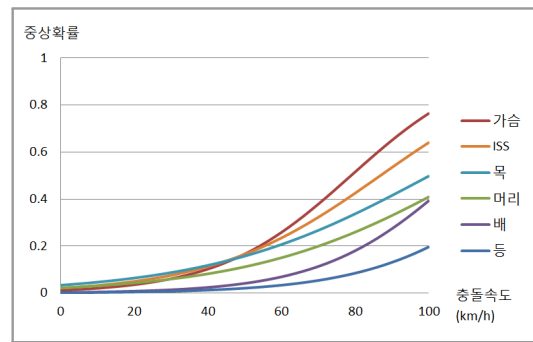
후방충격 교통사고에서는 남성운전자의 부위별 상해 중증도뿐만 아니라,  $p(\text{ISS } 15+)$ ,  $p(\text{MAIS } 3+)$ 도 충돌속도로 유의하게 추정할 수 없다(<표 11> 참고)

<표 16>은 본 연구에서 개발한 로지스틱 회귀모형에서 충돌속도가 상해 중증도를 유의하게 설명할 수

있는지 정리한 것이다. 전방충격 교통사고의 경우 충돌속도가 커지면 머리, 목, 가슴, 배, 등의 상해 중증도가 높아지고, 좌측방·우측방충격 교통사고의 경우 충돌속도가 커지면, 머리와 가슴의 상해중증도가 높아진다.

<표 16>에서 'O'으로 표시된 충격방향, 신체부위에 대하여 모형을 이용하여 상해중증도를 분석할 수 있고, 중상 발생 예측에 적용할 수 있다.

<그림 4>, <그림 5>는 각각 전방충격 및 좌측방충격 교통사고에서 충돌속도의 변화에 따른 남성운전자의 부위별 중상확률 추정결과를 보여준다.



<그림 4> 전방충격 남성운전자의 부위별 중상 확률

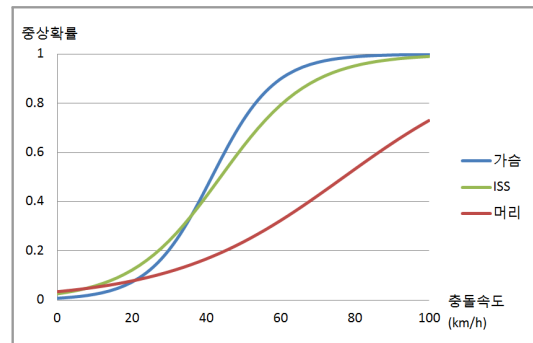
<표 16> 모형의 운전자 부위별 상해중증도 추정 가능성

상해부위	충격방향							
	전방		좌측방		우측방		후방	
	남	여	남	여	남	여	남	여
머리	O	O	O	O	O	O	X	X
얼굴	X	X	X	-	-	-	-	-
목	O	O	X	X	X	-	X	X
가슴	O	O	O	O	O	O	X	O
배	O	O	X	O	X	X	X	-
등	O	O	-	-	X	X	X	X
팔	X	X	-	-	X	-	X	-
다리	X	X	-	-	-	-	-	-
ISS 15+	O	O	O	O	O	O	X	O
MAIS 3+	O	O	O	O	O	O	X	O

주: O : 유의한 모형

X : 유의하지 않은 모형

- : 중상표본 없어 모형추정 못함



<그림 5> 좌측방충격 남성운전자 부위별 중상 확률

전방 또는 측방충격 교통사고에서 남성운전자는 다른 부위에 비해 가슴의 중상을 입을 확률이 더 높은 것을 알 수 있다.



〈표 8〉 전방충격 교통사고 남성운전자 중상확률 추정모형 계수추정 결과

신체부위	$\beta_0$		$\beta_1$		우도비 Pr)ChiSq	Score Pr)ChiSq	Wald Pr)ChiSq
	추정값	표준오차	추정값	표준오차			
머리	-3.7676	0.2753	0.0340	0.0061	0.0000	0.0000	0.0000
얼굴	-7.7303	1.6095	0.0400	0.0305	0.2268	0.1628	0.1899
목	-5.2038	0.4956	0.0370	0.0100	0.0005	0.0001	0.0002
가슴	-4.3944	0.2843	0.0557	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000
배	-5.8264	0.5128	0.0539	0.0092	0.0000	0.0000	0.0000
등	-6.2393	0.6739	0.0483	0.0121	0.0002	0.0000	0.0001
팔	-8.0431	1.6787	0.0463	0.0299	0.1507	0.0906	0.1214
다리	-12.0745	4.336	0.0980	0.0557	0.0336	0.0071	0.0785
ISS 15+	-3.8132	0.2539	0.0439	0.0055	0.0000	0.0000	0.0000
MAIS 3+	-3.3744	0.2172	0.0459	0.0050	0.0000	0.0000	0.0000

〈표 9〉 좌측방충격 교통사고 남성운전자 중상확률 추정모형 계수추정 결과

신체부위	$\beta_0$		$\beta_1$		우도비 Pr)ChiSq	Score Pr)ChiSq	Wald Pr)ChiSq
	추정값	표준오차	추정값	표준오차			
머리	-3.3456	0.6612	0.0434	0.0175	0.0141	0.0090	0.0135
얼굴	-5.7986	2.2617	0.0311	0.0580	0.6135	0.5854	0.5914
목	-3.9509	1.1204	0.0180	0.0321	0.5885	0.5729	0.5749
가슴	-4.9168	0.8295	0.1183	0.0236	0.0000	0.0000	0.0000
배	-4.2770	1.0450	0.0349	0.0268	0.2155	0.1813	0.1929
ISS 15+	-3.6427	0.6379	0.0830	0.0185	0.0000	0.0000	0.0000
MAIS 3+	-3.4549	0.6151	0.0920	0.0192	0.0000	0.0000	0.0000

〈표 10〉 우측방충격 교통사고 남성운전자 중상확률 추정모형 계수추정 결과

신체부위	$\beta_0$		$\beta_1$		우도비 Pr)ChiSq	Score Pr)ChiSq	Wald Pr)ChiSq
	추정값	표준오차	추정값	표준오차			
머리	-3.6266	0.6123	0.0486	0.0140	0.0004	0.0001	0.0005
목	-4.2503	1.4921	0.0005	0.0429	0.9902	0.9901	0.9901
가슴	-3.3393	0.6197	0.0333	0.0143	0.0247	0.0145	0.0204
배	-5.2665	1.2886	0.0392	0.0256	0.1578	0.1037	0.1263
등	-4.6671	1.4767	0.0134	0.0375	0.7331	0.7202	0.7213
팔	-4.6525	2.1385	-0.0096	0.0674	0.8820	0.8858	0.8859
ISS 15+	-3.1618	0.5480	0.0433	0.0131	0.0007	0.0003	0.0010
MAIS 3+	-3.0460	0.5225	0.0521	0.0133	0.0000	0.0000	0.0001

〈표 11〉 후방충격 교통사고 남성운전자 중상확률 추정모형 계수추정 결과

신체부위	$\beta_0$		$\beta_1$		우도비 Pr)ChiSq	Score Pr)ChiSq	Wald Pr)ChiSq
	추정값	표준오차	추정값	표준오차			
머리	-3.5537	0.8476	0.0213	0.0228	0.3770	0.3430	0.3514
목	-1.3568	1.6159	-0.1134	0.0911	0.1107	0.2234	0.2130
가슴	-5.4268	1.3519	0.0516	0.0278	0.0785	0.0375	0.0642
배	-4.9927	2.0150	0.0082	0.0602	0.8941	0.8908	0.8910
등	-7.4153	2.7146	0.0686	0.0474	0.1514	0.0745	0.1485
팔	1.1281	3.2272	-0.4000	0.2975	0.0549	0.2653	0.1789
ISS 15+	-3.0503	0.6726	0.0228	0.0183	0.2332	0.2021	0.2118
MAIS 3+	-2.8417	0.6206	0.0227	0.0170	0.2023	0.1743	0.1837

〈표 12〉 전방충격 교통사고 여성운전자 중상확률 추정모형 계수추정 결과

신체부위	$\beta_0$		$\beta_1$		우도비 Pr)ChiSq	Score Pr)ChiSq	Wald Pr)ChiSq
	추정값	표준오차	추정값	표준오차			
머리	-5.3665	0.3661	0.0557	0.0075	0.0000	0.0000	0.0000
얼굴	-6.0026	2.4792	-0.0482	0.1080	0.6090	0.6586	0.6553
목	-9.2420	1.2677	0.0871	0.0177	0.0000	0.0000	0.0000
가슴	-5.1012	0.3177	0.0606	0.0068	0.0000	0.0000	0.0000
배	-7.2608	0.6189	0.0780	0.0103	0.0000	0.0000	0.0000
등	-7.9967	1.0474	0.0636	0.0171	0.0009	0.0000	0.0002
팔	-6.8761	1.4531	0.0145	0.0409	0.7372	0.7208	0.7216
다리	-30.2669	24.7734	0.2917	0.2493	0.0006	0.0000	0.2420
ISS 15+	-5.0848	0.3108	0.0629	0.0067	0.0000	0.0000	0.0000
MAIS 3+	-4.5799	0.2611	0.0643	0.0061	0.0000	0.0000	0.0000

〈표 13〉 좌측방충격 교통사고 여성운전자 중상확률 추정모형 계수추정 결과

신체부위	$\beta_0$		$\beta_1$		우도비 Pr)ChiSq	Score Pr)ChiSq	Wald Pr)ChiSq
	추정값	표준오차	추정값	표준오차			
머리	-2.9861	0.4727	0.0340	0.0140	0.0183	0.0123	0.0152
목	-4.9110	0.9526	0.0441	0.0247	0.0943	0.0629	0.0749
가슴	-4.6281	0.6087	0.0856	0.0162	0.0000	0.0000	0.0000
배	-6.6195	1.1303	0.0949	0.0239	0.0000	0.0000	0.0001
ISS 15+	-3.4670	0.4786	0.0577	0.0136	0.0000	0.0000	0.0000
MAIS 3+	-2.9734	0.4188	0.0565	0.0127	0.0000	0.0000	0.0000

〈표 14〉 우측방충격 교통사고 여성운전자 중상확률 추정모형 계수추정 결과

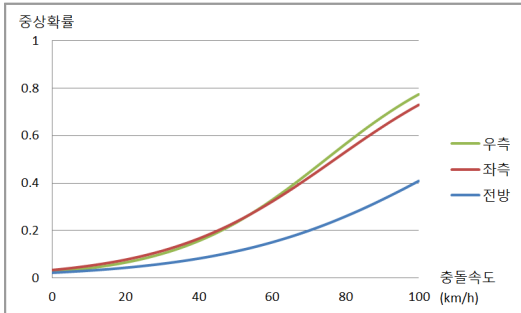
신체부위	$\beta_0$		$\beta_1$		우도비 Pr)ChiSq	Score Pr)ChiSq	Wald Pr)ChiSq
	추정값	표준오차	추정값	표준오차			
머리	-9.0170	1.9818	0.1628	0.0442	0.0000	0.0000	0.0002
가슴	-7.5684	1.5729	0.1224	0.0353	0.0001	0.0000	0.0005
배	-5.9191	1.6488	0.0529	0.0454	0.2863	0.2260	0.2439
등	-4.7104	2.3311	-0.0202	0.1001	0.8325	0.8393	0.8395
ISS 15+	-6.3419	1.2131	0.0976	0.0294	0.0006	0.0001	0.0009
MAIS 3+	-7.2767	1.2824	0.1484	0.0333	0.0000	0.0000	0.0000

〈표 15〉 후방충격 교통사고 여성운전자 중상확률 추정모형 계수추정 결과

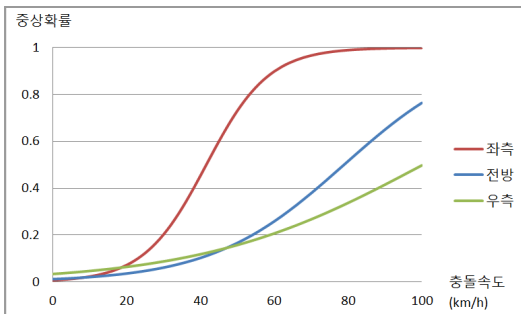
신체부위	$\beta_0$		$\beta_1$		우도비 Pr)ChiSq	Score Pr)ChiSq	Wald Pr)ChiSq
	추정값	표준오차	추정값	표준오차			
머리	-3.7505	0.9345	0.0155	0.0302	0.6187	0.6049	0.6058
목	-9.1217	3.1783	0.1041	0.0555	0.0569	0.0123	0.0608
가슴	-7.6449	1.5890	0.1144	0.0329	0.0001	0.0000	0.0005
배	-0.2359	2.5502	-0.3237	0.2241	0.0694	0.2129	0.1486
ISS 15+	-5.4029	0.9917	0.0708	0.0239	0.0038	0.0007	0.0031
MAIS 3+	-4.1410	0.7399	0.0495	0.0202	0.0191	0.0092	0.0145

<그림 6>, <그림 7>은 각각 충격방향별로 충돌 속도에 따라 머리와 가슴의 중상확률이 어떻게 변하는지 보여준다.

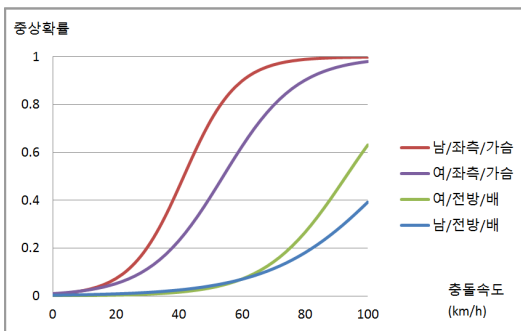
머리의 중상확률은 좌측·우측방 충격 교통사고에서 차이가 없지만, 가슴의 중상확률은 좌측방충격 교통사고에서 다른 충격방향보다 높다. 좌측방충격



<그림 6> 충격방향별 남성운전자 머리 중상 확률



<그림 7> 충격방향별 남성운전자 가슴 중상 확률



<그림 8> 성별, 충격방향별 운전자 가슴 및 배 중상 확률

교통사고에서는 충돌속도 30km/h부터 가슴의 중상 위험이 급격하게 높아져서 충돌속도가 60km/h를 넘으면 중상확률이 1에 가까워지는 특성을 보인다.

<그림 8>은 충격방향에 따라 남성·여성 운전자 가슴과 배의 중상확률이 충돌속도에 따라 어떻게 변하는지 보여준다.

충격방향별, 부위별 남성과 여성운전자의 중상확률 변화는 비슷한 양상을 보이나, 좌측방충격 교통사고의 가슴 중상확률은 남성 운전자가 높고, 전방충격 교통사고의 배 중상확률은 여성운전자가 높다. 상해부위를 구분하지 않은 기존 연구에서는 MAIS, ISS를 기준으로 여성의 중상확률이 높다고 하였는데, 본 연구에서는 충격방향과 손상부위에 따라 성별 중상확률이 달라지는 것으로 나타났다.

## IV. 운전자 상해도 추정 모형 평가

### 1. 교통사고 중상예측 정확도 평가

교통사고 자동통보체계에서 교통사고 승객 상해 중증도 추정 모형은 교통사고 발생 시 중상자 발생을 예측하기 위해 사용되므로 모형의 정확도는 교통사고 중상자 발생예측의 정확도로 평가한다.

모형을 이용하여 교통사고 중상자의 발생을 추정하는 경우, 관측한 교통사고와 모형을 통해 교통사고의 중상자 발생을 예측한 교통사고 건수를 <표 16>과 같이 정리할 수 있다.

<표 17> 교통사고 중상자 발생 예측 결과 분포

구분		예측	
		중상자 발생 ( $n_{11} + n_{21}$ )	중상자 미발생 ( $n_{12} + n_{22}$ )
관측	중상자 발생 ( $n_{11} + n_{12}$ )	$n_{11}$ (True)	$n_{12}$ (False)
	중상자 미발생 ( $n_{21} + n_{22}$ )	$n_{21}$ (False)	$n_{22}$ (True)

<표 17>에서 음영으로 처리한  $n_{11}$ ,  $n_{22}$ 이 정확하게 증상자 발생 또는 미발생을 예측한 교통사고 건수이다.

예측의 정확도는 민감성(Sensitivity) 또는 특이성(Specificity)으로 표현할 수 있다. 민감성은 증상자 발생사고를 증상자 발생사고로 예측할 가능성, 특이성은 증상자 미발생사고를 증상자 미발생사고로 예측할 가능성을 의미한다.

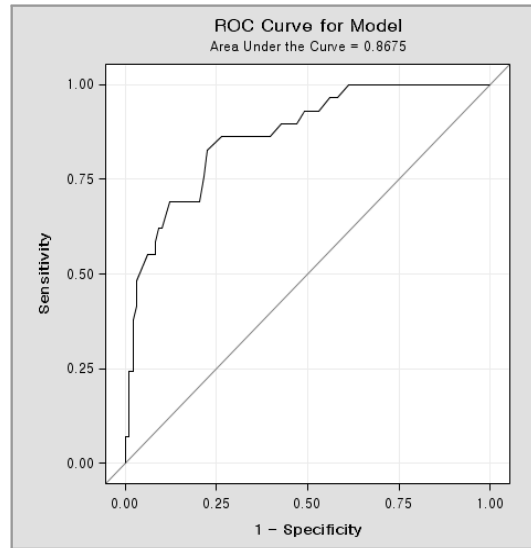
$$\text{민감성, Sensitivity} = \frac{n_{11}}{n_{11} + n_{12}} \quad (\text{식 5})$$

$$\text{특이성, Specificity} = \frac{n_{22}}{n_{21} + n_{22}} \quad (\text{식 6})$$

민감성과 특이성은 상쇄(trade-off)관계에 있는데, 증상환자라고 판단하는 기준 확률(cut-off)에 따라 변화하는 민감성과 특이성을 표현한 것이 ROC (Receiver Operating Characteristic) 곡선이다.<sup>6)</sup>

예측의 정확도를 표현하는 정량적 지표로 가장 일반적으로 사용되는 것은 ROC 곡선 아래의 면적(AUC, Area under the ROC curve)이다(Gonen, 2006). AUC는 0~1 사이의 값을 가지는데, 1에 가까울수록 예측의 정확도가 높다는 것을 의미한다. 일반적으로 AUC 0.9 이상은 매우 우수(excellent), AUC 0.8 이상은 우수(good), AUC 0.7 이상은 양호(fair)한 것으로 평가할 수 있다(Bartolluci et al, 2016).

<그림 9>는 남성운전자의 충격방향 좌측 교통사고의 가슴 증상추정모형을 이용한 증상 예측의 ROC 곡선을 예시한 것이다. AUC 값은 0.8675로 예측의 정확도가 우수하다고 평가할 수 있다.



<그림 9> 남성 좌측충격 교통사고 가슴 증상예측 ROC 곡선

<표 18>, <표 19>은 본 연구에서 개발된 회귀모형을 이용한 증상예측의 AUC 값을 정리한 것이다.

<표 18>, <표 19>에서 마지막 줄은 충격방향을 범주형 설명변수로 설정한 모형(식 (4))을 이용한 증상예측 모형의 AUC 값이다.

<표 18> 남성운전자 교통사고 증상예측 AUC

상해부위	충격방향			후방
	전방	좌측방	우측방	
머리	0.6652	0.7062	0.7789	—
목	0.7136	—	—	—
가슴	0.7843	0.8675	0.7208	—
배	0.7876	—	—	—
등	0.7918	—	—	—
ISS 15+	0.7016	0.7940	0.7540	—
MAIS 3+	0.7193	0.8034	0.7574	—
ISS 15	0.7296			—

6) Receiver operating characteristic - Wikipedia([https://en.wikipedia.org/wiki/Receiver\\_operating\\_characteristic](https://en.wikipedia.org/wiki/Receiver_operating_characteristic))

〈표 19〉 여성운전자 교통사고 중상예측 AUC

상해부위	충격방향			
	전방	좌측방	우측방	후방
머리	0.7424	0.6086	0.9739	—
목	0.9725	—	—	—
가슴	0.7985	0.8205	0.9294	0.8471
배	0.8961	—	—	—
등	0.7862	—	—	—
ISS 15+	0.7717	0.7155	0.8491	0.6441
MAIS 3+	0.7677	0.6935	0.8719	0.5887
ISS 15+	0.7888			

운전자의 성, 충격방향, 상해부위에 따라 중상예측의 정확도는 차이가 있었으나, 전체적으로 중상예측의 정확도는 0.7 이상으로 양호한 것으로 평가할 수 있다. 전방보다는 측방충격 사고의 중상예측 정확도가 높고, 전방·우측방 충격사고에서는 가슴부위의 중상예측의 정확도가 높다. 여성운전자 중상예측의 정확도가 높지만, 좌측방 충격사고의 경우 남성 운전자의 신체부위별 중상예측의 정확도가 높다.

부위별 상해를 종합한 지표인 ISS, MAIS를 이용한 중상예측의 정확도는 부위별 중상예측 정확도 값들의 평균 수준이다. 이는 부위별 중상예측 정확도의 차이가 부위를 종합한 지표에서 상쇄되어 반영된 것으로 해석할 수 있다.

## 2. 교통사고 자동통보체계 적용성 평가

교통사고 자동통보 체계는 차량에서 수집한 자료를 이용하여 사고 발생, 위치정보와 함께 사고정보를 응급기관에 제공한다. <그림 10>은 미국 Idaho 주의 교통사고 자동통보 체계의 사고정보 출력화면으로, 사고정보(Incident Information), 차량정보(Vehicle Information)와 함께 치명적인 교통사고일 확률(Probability of Casualty)을 제공하여 적절한 현장 응급치료와 이송 의료기관 선정을 지원한다.

The screenshot shows the 'EMS Response Screen' interface. At the top, it displays 'Crash at 2:38 PM, Date on US 20 near ID 75, Gannett, ID'. Below this, it shows 'Probability of Casualty: 59%' and 'DeltaV: 30 mph'. The 'PSAP Contact' section lists 'Blaine County Emergency Communications' with the number '208-788-5555'. The 'Incident Information' section includes fields for Incident ID (XXXXXXX), Event Notification (Airbag Deployed), Event Verified (Yes), Rollover (No), Data Provider (OnStar), and Provider Contact (888-466-7827). The 'Vehicle Information' section lists Color (Red), Year (2008), Manufacturer (GM), Make (Chevrolet), and Model (Tahoe). On the right, there is a diagram of a vehicle with a red arrow pointing to the front, labeled 'Direction of Force'. Below the diagram, it says 'Airbag Deployed'. At the bottom, there are buttons for '<< Previous Report', 'Next Report >>', 'Create Event', and 'Close'.

자료: Seekins, T.(2011), p. 17.

〈그림 10〉 교통사고 자동통보체계 사고정보 화면

본 연구에서 제시한 모형은 교통사고의 치명도(중상확률)와 함께 뿐만 아니라 운전자의 어떤 부위에 중상이 발생했는지 예측할 수 있으므로, 교통사고 자동통보 체계에 적용하면 교통사고의 인명피해를 줄이기 위한 응급기관의 교통사고 대응을 개선할 수 있을 것이다.

## V. 결론

교통사고로 인한 인명피해를 줄이기 위해서는 교통사고현장에서 빠르고 적절한 응급조치가 수행되어야 하고, 부상자의 상해에 맞춰 치료할 수 있는 의료기관으로 환자를 이송해야 한다. 자동차에 설치된 장치가 교통사고를 인식하고 응급기관으로 통보하는 교통사고 자동통보 체계는 신속하고 적절한 응급치료를 통해 교통사고 부상자의 응급치료에 도

움을 줄 수 있다.

교통사고로 인한 운전자 상해의 증증도는 사고 특성, 차량 특성, 탑승자 특성, 안전장비 착용에 영향을 받는다. 본 연구에서는 운전자의 성, 충격방향, 충돌속도에 따라 운전자의 상해부위와 상해정도가 달라지는 것에 주목하여 충격방향별로 신체부위의 상해 증증도를 추정하는 모형을 개발하였다. 교통사고 조사자료와 피해자 의료기록을 수집한 미국 NASS-CDS 자료를 이용하였으며 로지스틱 회귀분석을 수행하였다.

충격방향에 따라 충돌속도가 운전자 신체부위의 상해 증증도에 미치는 영향이 다르게 나타났다. 좌측방충격 교통사고의 운전자 상해도가 큰 것으로 분석되었고, 가슴의 중상확률은 다른 신체 부위의 중상확률과 다른 양상을 보였다. 충격방향과 신체부위를 구분한 모형을 이용한 교통사고 중상예측의 정확도는 AUC 0.7 이상으로 양호하다고 평가할 수 있다.

충격방향에 따라 운전자 신체부위의 중상확률을 추정하는 모형은 주요 신체부위의 중상발생을 정확하게 예측할 수 있으므로 교통사고 자동통보체계의 사고분석에 적용될 경우 교통사고 응급대응에 유용한 정보를 제공할 수 있다.

본 연구에서는 교통사고 운전자의 상해도 추정 모형의 정산을 위해 미국의 NASS-CDS 자료를 사용하였다. 한국의 교통사고 자동통보체계에 적용하기 위해서는 한국의 교통사고 특성을 반영한 조사분석 자료를 이용한 검증이 필요하다.

## ■ 감사의 글

본 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 시행한 2016년 교통물류연구사업(차량 ICT 기반 긴급구난체계 구축)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## ■ 참고문헌

1. 분당서울대학교병원, 『손상척도분류 표준 교육프로그램 개발』, 질병관리본부, 2016.
2. 양미애, “손상환자 증증도 분류를 위한 도구 소개”, 『주간 건강과 질병』, 제7권 제41호, 질병관리본부, 2014. pp. 917-920.
3. 통계청, 『2015년 사망원인통계』, 2016.
4. 한눈에 보는 교통사고통계, 교통사고분석시스템 (<http://taas.koroad.or.kr>)[2016.10.10].
5. 홍세희, 『이항 및 다항 로지스틱 회귀분석』, 교육과학사, 2005.
6. 황지영 등, “교통사고 환자에서 외상증증도 점수의 예측 타당도”, 『대한응급의학회지』, 제22권 제4호, 2011. pp. 329-334.
7. Bahouth, George T., *Development and Validation of Injury Prediction Algorithms for Automotive Crash Applications*, Doctor of Science diss, The George Washington University, 2003.
8. Bartolucci, A., Singh, K. O., and Bae, Sejong, *Introduction to statistical analysis of laboratory data*, John Wiley & Sons, Inc. 2016.
9. GAO, *Auto Safety; Status of NHTSA's redesign of its crashworthiness data system*, GAO-15-334, 2015.
10. Gonen, Mithat, “Receiver Operating Characteristic(ROC) Curves”, *SUGI*, 31 Proceedings, 2006.
11. Kononen, Douglas W., Flannagan, Carol A.C. and Wang, Stewart C., “Identification and validation of a logistic regression model for predicting serious injuries associated with motor vehicle crashes”, *Accident Analysis and Prevention*, Vol 43, 2011. pp. 112-122.
12. Malliaris, A., Digges, K., and DeBlois, J., “Relationships between crash casualties and crash attributes”, *Society of Automotive Engineers*, No. 970393, 1997.
13. NHTSA, *Automated collision notification(ACN) field operational test(FOT) evaluation report*, National Highway Traffic Safety Administration, 2001.
14. NHTSA, *National Automotive Sampling System - Crashworthiness Data System; 2014 Analytical User's Manual*, 2015.
15. Sasser, S.M. et al., “Recommendations of the national expert panel on field triage”, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 58 (RR-1), 2009. pp. 1-36.

16. Seekins T., Blatt, A. Flanigan, M., *Characterization of pathways for delivery of crash telemetry data to Montana*, University of Montana and CUBRC, 2011.
17. World Health Organization, *Road traffic injury prevention : training manual*, 2006.
18. NASS CDS XML Case Viewer, (<http://www-nass.nhtsa.dot.gov/nass/cds-preliminary/SearchForm.spx>)[2016.10.10].
19. Receiver operating characteristic – Wikipedia, ([https://en.wikipedia.org/wiki/Receiver\\_operating\\_characteristic](https://en.wikipedia.org/wiki/Receiver_operating_characteristic)) [2016.10.10].