

# 슬레드 모델 시뮬레이션을 이용한 자동차 정면충돌에서 차량 형태별 운전자 상해 판정식 제작

문 준 희<sup>1)</sup> · 최 형 언<sup>\*2)</sup>

홍익대학교 대학원 기계공학과<sup>1)</sup> · 홍익대학교 기계시스템디자인공학과<sup>2)</sup>

## Construction of Driver's Injury Risk Prediction in Different Car Type by Using Sled Model Simulation at Frontal Crash

Jun Hee Moon<sup>1)</sup> · Hyung Yun Choi<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Hongik University, Seoul 121-791, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University, Seoul 121-791, Korea

(Received 8 November 2012 / Revised 7 March 2013 / Accepted 18 March 2013)

**Abstract** : An extensive real world in-depth crash accident data is needed to make a precise occupant injury risk prediction at crash accidents which might be a critical information from the scene of the accident in ACNS(Automatic Crash Notification System). However it is rather unfortunate that there is no such a domestic database unlike other leading countries. Therefore we propose a numerical method, i.e., crash simulation using a sled model to make a virtual database that can substitute car crash database in real world. The proposing crash injury risk prediction is validated against a limited domestic crash accident data.

**Key words** : Full overlap frontal crash(정면충돌), Computer simulation(전산해석), Injury risk prediction(상해 위험도 예측), Sled model(슬레드모형)

### 1. 서 론

현재 선진 각국은 교통사고 사상자를 줄이기 위해 정부 주도하에 막대한 예산을 들여 자동차 안전성 제고를 위한 연구 활동을 강력히 추진하고 있는 상황이다. 반면 국내 교통사고 사상자 수는 다각적인 노력에도 불구하고 1990년부터 1999년까지 자동차 1만대당 36.3명에서 8.4명으로 27.9명이 감소된 반면 2000년부터 2011년까지는 7.4명에서 2.4명으로 5명이 감소되어 감소 추세가 둔화되어 있는 상황이다.<sup>1)</sup> 또한 김윤, 정규영 등이 2003년 7월부터 2004년 6월까지 1년간 서울 및 경기, 강원, 전북, 3개 지역에서 조사한 결과 202명의 외상 환자 중 39.6%인

80명의 환자는 적절한 응급처치로 사망을 막을 수 있었던 예방 가능한 사망(Preventable deaths)으로 판단하였고<sup>2)</sup> 김갑득, 홍성엽은 교통사고에 의한 병원 내 사망환자 163명 중 23.9%에 해당하는 39명의 사망자를 예방 가능한 사망으로 판단하였다.<sup>3)</sup> 이처럼 현재 둔화되어 있는 사망자 감소 추세는 교통 사고 환자의 적극적인 현장 응급처치, 후송중의 치료, 그리고 적절한 치료가 가능한 의료기관으로의 빠른 수송 등으로 증가시킬 수 있을 것으로 보인다.

이러한 구급치료(Emergency Medical Service)를 보다 효율적으로 시행하기 위해서는 충돌사고 시 탑승자의 상해를 정성적, 정량적으로 예측하고 이를 다른 사고정보 즉 사고위치, 차량충돌속도, 방향 등과 함께 관련 기관에 자동으로 통지하는 시스템

\*Corresponding author, E-mail: [hychoi209@hongik.ac.kr](mailto:hychoi209@hongik.ac.kr)

이 필요하다. 충돌사고 시 운전자 상해 위험도를 예측하기 위해서는 실제 도로에서의 충돌사고 데이터베이스가 필요하지만 우리나라에서는 아직까지 이러한 실사고 정보가 구체적으로 축적되고 있지 않고 있다.

반면 일본, 독일의 ITARDA (Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis),<sup>4)</sup> GIDAS (German In-Depth Accident Study),<sup>5)</sup> 그리고 미국도로교통안전국 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)<sup>6)</sup>의 NASS-CDS (National Automotive Sampling System-Crashworthiness Data System)는 충돌사고의 상황, 차량과 승객에 대한 정보들을 구체적으로 수집하고 있고 특히 미국도로교통안전국은 NASS 데이터의 충돌속도, 차량 무게, 승객의 정보 등을 분석하여 교통사고시 승객의 상해 정도를 예측하는 URGENCY 알고리즘<sup>7)</sup>을 구축하여 응급구난 시스템(ACN, Automatic Collision Notification)의 일환으로 사용하고 있다. 하지만 미국, 일본, 독일 등에서 구축된 NASS/CDS, ITARDA, GIDAS 등의 실사고 데이터는 우리와의 교통 환경이 상이한 국가에서 구축된 사고 자료이므로 참고자료로써만 활용이 가능한 실정이다.

따라서 본 연구는 국내 차량의 정보를 이용하여 구축한 슬레드 시뮬레이션을 이용하여 여러 가지 다른 상황에서의 충돌사고를 묘사하는 충돌사고 데이터베이스를 구축하고 이를 이용하여 충돌사고 시 운전자 상해 판정식을 구축하는 것을 목표로 한다. 다만 여러 제한적 요소로 인하여 주 충돌 하중 11시부터 1시사이인 정면충돌에 해당하는 세단과 SUV의 운전자만을 연구 대상으로 하고 상해 부위 또한 두부, 흉부, 하지로 한정하였다.

이러한 방법으로 제작한 운전자 상해 판정식은 교통사고시의 사고 상황과 운전자의 정보 등을 이용하여 운전자 신체 각 부위의 상해 정도를 판정함으로써 적극적인 현장 응급처치와 후송 중 치료의 효과를 높일 수 있을 것으로 보인다.

## 2. 상해판정식 검증을 위한 실사고 데이터

### 2.1 실사고 데이터 수집

승객 상해해석 모델의 검증을 위해 2011. 1월부터

9월까지 두 대학병원 응급실(건국대학교 충주캠퍼스, 연세대학교 원주캠퍼스)에서 국내 실사고 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 상해환자 기준으로 150명, 사고차량 기준으로 116대에 해당하고 각각의 데이터는 성별, 나이, 신장, 몸무게, 승객위치, 에어백 전개 유무, 안전벨트 착용 유무, 차량종류, 승객의 상해정도를 분류하는 AIS, ISS와 차량의 파손 정보를 담고 있는 CDC code 정보를 포함한다.

### 2.2 실사고 데이터에서의 충돌 속도

운전자의 상해에 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있을 것이다. 특히 충돌속도의 경우는 빠져서는 안될 중요한 요인이지만 현재 수집된 실사고 데이터는 충돌속도를 포함하고 있지 않다. 따라서 김승기(2012)<sup>8)</sup>가 제시한 11시, 12시, 1시의 충돌방향별로 변형량에 따른 충돌속도를 추정하는 식과 실사고 데이터의 CDC code의 변형량을 이용하여 충돌속도를 추정하였다.

$$V_{11\text{시유효충돌속도}} = 0.5716 \times \delta_{\max} + 8.03 \quad (1)$$

$$V_{12\text{시유효충돌속도}} = 0.624 \times \delta_{\max} + 10.49 \quad (2)$$

$$V_{1\text{시유효충돌속도}} = 0.5173 \times \delta_{\max} + 9.30 \quad (3)$$

(1)~(3) 식을 이용하여 환산한 결과 실사고 데이터에서의 충돌속도 범위는 31.1km/h~72km/h인 것으로 나타났다.

### 2.3 실사고 데이터 분류

승객 상해 해석 모델의 검증을 위해 수집된 150명의 실사고 데이터 중 상해 판정식 대상 조건에 맞지 않는 경우는 제외시켜야 할 필요가 있었다. 따라서 다음과 같은 기준으로 실사고 데이터를 다시 정리하였다.

- 1) 운전자 또는 사고 정보가 누락된 경우
- 2) 환자가 운전자가 아닌 경우
- 3) 사고 차량이 세단이나 SUV가 아닌 경우
- 4) 정면충돌이 아닌 경우

그 결과 20명의 환자로 축약되었고 환자의 상해 정도를 중증상해(Major injury severity)와 경증상해(Minor injury severity)로 분류하는 ISS 15와 차량의 형태를 기준으로 다시 분류하였다(Table 1).

Table 1 Domestic real world in-depth crash accident data collected for this study

	Minor (ISS<15)	Major (ISS>15)
	Driver	Driver
Sedan	6	12
SUV	1	1

### 3. NHTSA report 수집

#### 3.1 가속도 펄스 수집

컴퓨터 시뮬레이션이 실제 사고를 묘사하기 위해서는 시뮬레이션에 사용될 입력 값들이 실제 차량과 같아야 할 것이다. 하지만 현재 국내에서는 실제 자동차 충돌사고 시에 가속도 펄스를 얻을 수 없는 상황이기 때문에 본 연구에서는 실제 차량의 가속도 펄스를 미국도로교통안전국(NHTSA)의 정면충돌 테스트 보고서(2000~2012)를 통하여 수집하였다. 목표차량을 정하기 위해 수집된 NHTSA 보고서들 중 국산차에 해당하는 보고서를 분류하였고 이를 충돌 시 가속도 펄스를 차량의 무게와 충돌 속도로, 차량의 형태 별로 분류하였다(Table 2).

Table 2 Crash pulse availability for domestic car model from the NHTSA database

Type	Mass (kg)	Brand name	Acceleration Curve		
			40km	48km	56km
Sedan	1100	HYUNDAI ACCENT	×	○	○
	1300	HYUNDAI ELANTRA	○	×	○
	1500	HYUNDAI SONATA	○	×	○
	1700	HYUNDAI XG350	×	○	○
SUV	1300	KIA SOUL	×	×	○
	1500	HYUNDAI TUCSON	○	×	○
	1800	HYUNDAI SANTA FE	○	×	○
	2000	KIA BORREGO	○	×	○

분류 결과, 56km/h의 경우는 모든 차량에 대한 가속도 펄스 값이 있었으나 40, 48km/h에서의 가속도 펄스는 차량에 따라서 없는 경우가 있었고 실사고 데이터에서 나타난 30km/h에 대한 가속도 펄스는 없는 것으로 나타났다.

#### 3.2 40km/h, 48km/h 가속도 펄스 추정

NHTSA 보고서에서 얻지 못한 가속도 펄스의 추정을 위해 목표차량과 무게가 같고 충돌속도가 같은 국내의 모든 차량의 가속도 펄스를 수집하였다. 이와 같이 수집된 가속도 펄스들에서 정갑성(2010)<sup>9)</sup>이 제시한 가속도 펄스의 특성값 G1(엔진 전반부 변형)과 G2(엔진 후반부 변형)를 구하였고 추가적으로 다음과 같은 특성값들을 구하였다(Fig. 1).

- 1) G1 시작지점(d1)
- 2) G1 종료지점(d2)
- 3) G2 시작지점(d3)
- 4) G2 종료지점(d4)
- 5) 총 변형량(d5)

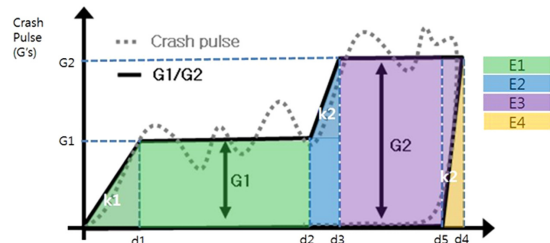


Fig. 1 Characteristics of frontal crash pulse

국내의 차량들의 가속도 펄스에서 5가지 특성값을 얻은 뒤 평균을 구하여 보유하지 못한 40,48km/h에서의 가속도 펄스로 대체하였다. Table 3은 1100kg 세단의 40km/h에서의 가속도 펄스를 다른 차량의 특성값 평균으로 대체한 경우이다. 이와 같은 방법을 이용하여 필요한 40,48km/h에서의 가속도 펄스들을 모두 구하였다.

Table 3 Crash pulse for 40km/h

vehicle	Impact speed (kph)	G1	G2	d1	d2	d3	d4	d5
AVEO	39.8	12.5	19.3	58.9	228.2	232.6	429.3	416.7
CIVIC	40.2	15.3	20.5	81.1	262.8	265.7	412.7	400.9
FIT	39.8	13.1	20.1	86.5	211.7	212.7	413.2	410.3
COROLLA	39.3	11.5	18.7	47.5	346.8	351.9	481.4	468.2
YARIS	39.8	14.9	29.1	73.3	318.1	322.0	393.1	384.9
average	39.8	13.5	21.5	69.5	273.5	276.9	425.9	416.2

### 3.3 30km/h 가속도 펄스 추정

저속(30km/h)에서의 가속도 펄스 추정을 위해 위에서 얻은 가속도 펄스 특성값을 이용하여 목표차량 무게에 대한 속도별 G1, G2, d1, d2, d3, d4, d5의 평균값을 얻었고 이를 이용하여 목표차량 무게 별로 충돌속도를 변수로 갖는 각각의 특성값에 대한 추세식을 얻었다. 다음은 30km/h에서의 가속도 펄스 추정을 위한 1100kg 세단에서의 특성값 추세식이다.

$$G1 = 0.1476 V + 6.7565 \quad (4)$$

$$G2 = 0.4899 V + 0.6072 \quad (5)$$

$$d1 = 2.3218 V - 17.624 \quad (6)$$

$$d2 = 2.2489 V + 201.86 \quad (7)$$

$$d3 = 2.4426 V + 198.38 \quad (8)$$

$$d4 = 11.35 V + 0.3522 \quad (9)$$

$$d5 = 11.094 V - 0.7492 \quad (10)$$

Table 4 Estimated 30km/h crash pulse from a regression

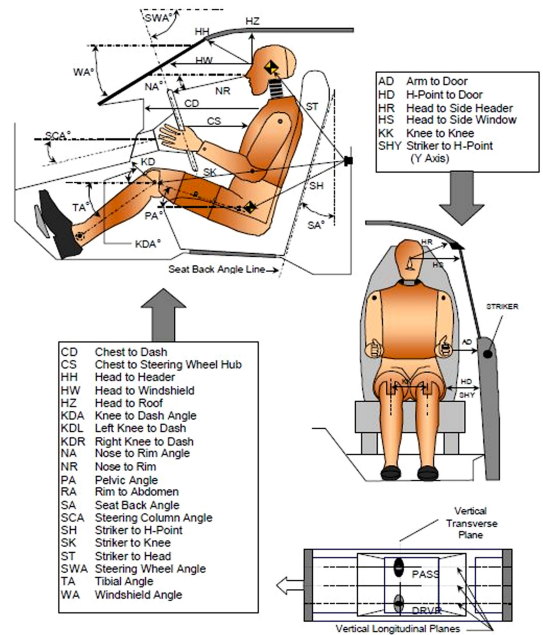
Velocity	G1	G2	D1	D2	D3	D4	D5
30	11.2	15.3	52	269.3	271.7	340.9	333.8

Table 4는 추세식을 이용하여 추정한 1100kg (ACCENT)에서의 30km/h 가속도 펄스와 그 특성값이다. 식 (4)~(10)과 같은 추세식을 차량의 무게별로 구한뒤 이를 이용하여 모든 목표 차량의 30km/h 충돌시 가속도 펄스를 추정하였다.

시뮬레이션시 실제 가속도 펄스와 특성값을 이용하여 단순화된 펄스를 혼용하여 사용한다면 가속도 펄스 형태의 일관성이 없어지게 되고 이로 인해 시뮬레이션 결과에서 가속도 펄스가 상해에 미치는 영향에도 일관성이 떨어질 것으로 생각되어 시뮬레이션에 사용될 모든 가속도 펄스는 특성값을 이용하여 단순화한 가속도 펄스를 사용하였다.

### 3.4 더미 위치값 수집

시뮬레이션을 위한 가속도 펄스가 모두 준비된 이후 슬레드 모델의 보정을 위해 목표차량의 더미 위치 값을 각각 얻었다(Fig. 2).



DUMMY MEASUREMENTS FOR FRONT SEAT OCCUPANTS

Fig. 2 Dummy positioning from NHTSA database

### 4. 시뮬레이션을 위한 Sled parameter matrix

실사고 데이터베이스를 대체하기 위해서는 시뮬레이션 또한 여러 가지 다른 조건으로 행해져야 하고 그 여러 가지 조건들은 시뮬레이션에 적용, 검증 가능한 것이어야 한다. 따라서 시뮬레이션 조건을 정하기 위하여 먼저 NHTSA 보고서에서 얻을 수 있는 항목들과 실사고 데이터에 포함된 항목들을 종합하였다.

- 1) 에어백 전개 여부(유무)
- 2) 안전 벨트 착용 여부(유무)
- 3) 충돌속도(30, 40, 48, 56km/h)
- 4) 차량종류(무게별)
- 5) 승객 사이즈(더미 사이즈별)
- 6) 승객위치(운전석, 조수석)
- 7) 승객나이(고령자, 비고령자)
- 8) 승객성별(남성, 여성)

최종적으로 시뮬레이션에 적용할 조건들을 정하기 위해 위의 항목들을 시뮬레이션 가능 여부와 실사고 데이터로의 검증여부로 다시 검토하였다.

검토결과 승객 위치와 승객 나이는 실사고 데이터 중 세단에는 있지만 SUV의 경우 검증 가능한 데

Table 5 Sled parameter for computer simulation (sedan)

	Parameter	Change
1	Airbag	2 (on, off)
2	Seat belt	2 (on, off)
3	Vehicle mass	4 1100, 1300, 1500, 1700kg)
4	Impact speed	4 (30, 40, 48, 56km/h)
5	Dummy size	3 (5%tile female, 50, 95%tile male)
total case		192(144)



Fig. 3 Driver side sled model

Table 6 Sled parameter for computer simulation (SUV)

	Parameter	Change
1	Airbag	2 (on, off)
2	Seat belt	2 (on, off)
3	Vehicle mass	3 (1500, 1800, 2000kg)
4	Impact speed	4 (30, 40, 48, 56km/h)
5	Dummy size	3 (5%tile female, 50, 95%tile male)
total case		144(108)

이터가 없으므로 제외하였고 승객의 성별의 경우 더미 사이즈에 5%tile 여성 더미가 있으므로 제외하였다. 위와 같은 검토를 거쳐 최종적으로 아래와 같은 슬레드 변수 행렬을 완성하였다(Table 5, Table 6). 하지만 시뮬레이션시 에어백과 안전벨트 모두 없는 경우는 더미가 좌석을 크게 벗어나게 되므로 제외시켰다.

## 5. Sled model 구축

### 5.1 Sled model 구성

시뮬레이션을 위한 데이터들과 시뮬레이션 조건들을 정한 후 충돌사고의 묘사를 위해 기본 운전석 슬레드 모델을 구성하였다(Fig. 3).

시뮬레이션에 사용될 더미는 HYBRID III 50%tile (FTSS-MBS)로 선정하였고 기존의 목표차량으로 선정하였던 국산 차량 테스트 보고서에서 얻은 값들을 슬레드 모델의 입력값으로 사용하였다. 그 후

시뮬레이션을 통해 얻은 더미의 HIC, Thorax G, Femur load값을 NHTSA 충돌 테스트 더미에서 측정된 값과 비교하여 에어백과 시트벨트에 관한 값을 얻었고 모델에 적용하였다.

### 5.2 Sled model 검증

구성된 슬레드 모델의 검증을 위해 시뮬레이션을 행하여 48km/h와 56km/h에서의 두부, 목, 흉부에서의 상해 값을 얻고 목표차량의 NHTSA 보고서 더미에서 나타난 상해 값과 비교하였다(Table 7).

시뮬레이션 결과, 두부, 흉부, 하지에서의 상해 값인 HIC, Thorax G, Femur load값이 50%tile 더미에 해당하는 속도인 48km/h와 56km/h에서의 테스트 결과와 유사하게 나타난 것을 확인하였다. 하지만 5%tile 더미는 테스트와 같은 조건인 안전벨트를 하지 않은, 40km/h에서 해석했을 때 해석결과가 실제 시험 상해 값보다 높게 나타나는 것으로 나타났다. 95%tile 더미의 경우는 실제 시험결과가 없기 때문에 해석결과 측정만 실시하였다.

Table 7 Comparing NHTSA result with simulation (50%tile)

48km/h	Test	Simulation	Diff. (%)
HIC	248	255	2.8
Thorax G	43	44.13	2.6
Femur load (kN)	4288	4206.23	1.8

56km/h	Test	Simulation	Diff. (%)
HIC	371	347	6.5
Thorax G	44	49.45	12.4
Femur load (kN)	4288	4206.23	1.8

NHTSA 보고서와 시뮬레이션 결과 값을 비교하여 슬레드 모델을 검증한 뒤, 수집한 실사고 데이터의 상해 값과 시뮬레이션으로 얻은 상해 값을 비교하였다. 먼저 실사고 데이터에서 48km/h와 56km/h에 해당하는 환자를 선별하였다. 다만 구축된 슬레드 모델의 경우 에어백과 안전벨트 모두 없는 경우는 더미가 좌석을 크게 벗어나게 되므로 선별 시 에어백과 안전벨트 모두 작용하지 않은 경우는 제외시켰다. 그 결과 총 5명의 환자를 선별하였으나 5명의 실사고 데이터 환자 중 2명은 사고 시 에어백과 안전벨트, 충돌속도, 차량의 무게가 동일하기 때문에 시뮬레이션은 4번만 행하였다(Table 8). 4번의 시뮬레이션은 선별한 실사고 환자들의 사고와 같은 조건으로 수행하였다.

시뮬레이션으로 얻은 상해 값은 Table 8과 같이 HIC, G, mm, kN으로 나타내고 있다. 하지만 보유하고 있는 실사고 데이터는 신체별 상해정도를 AIS 등급으로 표시하고 있기 때문에 두 가지 상해결과를

Table 8 Simulation result about same condition as real world in-depth accident data

No	Belt	Air bag	Weight (kg)	Speed (kph)	Head (HIC)	Thorax		Femur (kN)
						(G)	(mm)	
1	O	O	1500	48	211.5	37.3	27.2	3.180
2	X	O	1500	48	247.9	65.0	64.7	8.671
3	X	O	1100	56	362.3	72.7	76.8	12.799
4	O	O	1500	56	327.0	47.3	31.2	4.469

Table 10 Comparing simulation result with real world in-depth accident data

No	Driver		Safety Device		Vehicle		AIS					
	Height (cm)	Weight (kg)	Belt	Air bag	Weight (kg)	Speed (km/h)	Code1	AIS1	Code2	AIS2	Code3	AIS3
1	165	70	O	O	1415 (1500)	46.4 (48)	Abdomen	2	Thorax	1 (1,2)	Lumbar supine	1
2	178	76	X	O	1490 (1500)	46.4 (48)	Thorax	3 (2,3)	Abdomen	2	Upper extremity	2
3	170	65	X	O	1443 (1500)	46.4 (48)	Thorax	3 (2,3)	Head	2	Abdomen	2
4	159	63	X	O	1095 (1100)	60.7 (56)	Head	4 (1)	Face	2	Thorax	5 (2,4)
5	179	85	O	O	1410 (1500)	60.7 (56)	Thorax	3 (2)	Abdomen	2	Lower extremity	3 (0)

( ) : simulation result

Thorax : (based on deflection, based on G)

Table 9 HIC, Thorax G, deflection, Femur load value at each AIS level

AIS	Head (HIC)	Thorax		Femur (kN)
		(G)	(mm)	
1+	330-586	13-21		7-11
2+	587-966	22-50	42-78	12-15
3+	967-1435	51-69	79-107	16-19
4+	1436-1848	70-133	108-192	20-24
5+	1849-2182	134-248	192<	25-28
6+	2182<	248<		28<

비교하기 위해 시뮬레이션의 결과로 얻어진 신체부위별 상해 값을 AIS 등급으로 변환해야 했다.

이를 위해 Eppinger<sup>10)</sup>와 Kupp<sup>11)</sup>가 제시한 AIS 등급식을 이용하여 상해확률 50%를 기준으로 삼고 각 AIS 등급에 대한 상해 값 범위를 얻었다. 다음은 두부에서의 AIS 2에 대한 HIC 값 범위를 구하는 방식이다(Fig. 4).

위와 같은 방식을 통해 목표 상해 부위인 두부, 흉부, 하지에 대한 AIS 등급별 상해 값의 범위를 모두 구하였다(Table 9).

Table 9를 이용하여 시뮬레이션의 결과 값을 AIS 등급으로 변환하고 선별한 환자의 상해정도와 비교하였다(Table 10).

비교한 결과 흉부의 경우는 G 값을 기준으로 하였을 때 실사고 데이터와 유사한 값을 얻을 수 있었지만 두부와 하지의 경우는 시뮬레이션이 실제보다 상해가 적게 나타나는 것으로 확인되었다.

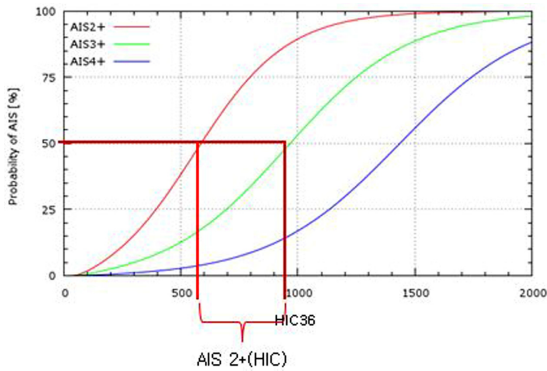


Fig. 4 The method to set injury value range in different AIS

## 6. 상해 판정식 구축

### 6.1 상해 판정식의 제작

본 연구에서 사용한 상해 판정식의 기본적인 형태는 다음과 같다.

$$Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_7 x_7 \quad (11)$$

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-Z)} \quad (12)$$

즉, 반응함수 Z를 로지스틱 함수에 대입하여 종속변수가 발생한 확률을 구하는 형식으로써 반응함수 Z는 각각의 독립변수에 가중치 β를 곱한 후 그 값을 모두 더한 것을 말한다. 본 연구에서는 종속변수를 AIS 등급으로, 독립변수를 시뮬레이션 조건에서 설정한 다음과 같은 항목으로 정하였다.

x1 = Airbag, x2 = Seatbelt, x3 = size

x4 = impactspeed, x5 = veichle mass

에어백과 안전 벨트의 경우는 미착용을 0, 착용을 1로 설정하고 나머지 변수들은 실제값을 적용하도록 하였다. 독립변수를 정한 후에는 회귀분석을 이용하여 각각의 상해부위 별 AIS 등급별로 β 값들을 얻었다. 회귀분석방법은 종속변수인 AIS가 1~6까지의 레벨로 구분되어 있으므로 순서형 로지스틱회귀분석을 사용하였다. 분석 결과는 다음과 같다 (Table 11).

분석결과 모든 경우에 대해 차량의 무게는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타나 제외되었고 흉부와 하지의 경우는 에어백이 통계적으로 유의하

Table 11 β value in injury risk prediction

Sedan	AIS	1	2	3	4	5
Head	constant	-1.94	-2.32	-2.61	-2.79	-2.83
	belt	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17	-1.17
	airbag	-1.92	-1.92	-1.92	-1.92	-1.92
	size	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	impact speed	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Thorax	constant		-5.39	-6.51	-7.31	
	belt		-1.14	-1.14	-1.14	
	size		0.02	0.02	0.02	
	impact speed		0.15	0.15	0.15	
Lower extremity (Left)	constant	-1.90	-1.97	-2.03	-2.32	-2.41
	belt	-2.47	-2.47	-2.47	-2.47	-2.47
	size	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	impact speed	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
Lower extremity (Right)	constant	-1.68	-2.07	-2.47	-2.56	
	belt	-2.77	-2.77	-2.77	-2.77	
	size	0.022	0.022	0.022	0.022	
	impact speed	0.069	0.069	0.069	0.069	
SUV	AIS					
	constant	-1.81	-2.08	-2.48	-2.69	
	belt	-1.18	-1.18	-1.18	-1.18	
	airbag	-1.95	-1.95	-1.95	-1.95	
	size	0.02	0.02	0.02	0.02	
Head	impact speed	0.1	0.1	0.1	0.1	
	constant		-5.72	-6.34	-7.2	
	belt		-1.05	-1.05	-1.05	
	size		0.03	0.03	0.03	
Thorax	impact speed		0.15	0.15	0.15	
	constant	-1.5	-1.9			
	belt	-2.49	-2.49			
	size	0.03	0.03			
Lower extremity (Left)	impact speed	0.056	0.056			
	constant	-1.47	-1.88			
	belt	-2.49	-2.49			
	size	0.015	0.015			
Lower extremity (Right)	impact speed	0.102	0.102			

지 않은 것으로 나타나 제외되었다. 결과적으로 모든 경우에 대해 차량의 무게에 대한 변수가 적용되

지 않았고 흉부, 하지의 경우는 에어백에 대한 변수가 적용되지 않았다. 또한 일부 AIS 등급에 대한  $\beta$  값은 case의 부족으로 인하여 얻지 못하였다.

### 6.2 상해 판정식의 검증

상해 판정식을 구축한 후에 보유한 실사고 데이터의 조건을 판정식에 적용시켜 결과를 비교하였다 (Table 12). 비교에 앞서 상해판정식의 운전자 신체 사이즈는 %tile값을 사용하게 되어있어 실사고 데이터의 신장과 몸무게를 신체 사이즈로 변환해야하는 작업이 필요하였다. 이를 위해 산업자원부 기술표준원에서 시행한 2004년 제5차 한국인 인체치수조사사업의 학술연구 용역 결과<sup>12)</sup>를 이용하여 각 실사고 데이터의 신장을 신체사이즈로 변환하였다. 또한 시뮬레이션 조건과 마찬가지로 에어백과 안전벨트가 모두 없는 경우는 제외하였다. AIS 등급별로 발생확률이 몇% 이상이면 정확히 예측을 하였다고 단정 짓기는 매우 어렵기 때문에 해당조건에 대한 모든 AIS 등급별 발생확률을 Table 12와 같이 정리하였다. 이에 대해 임의의 상해 확률에 대한 예측여부를 살펴본 결과, 상해 확률 60%를 기준으로 하였을 때 하지의 경우만을 예측할 수 있었고 상해 확률 70%를 기준으로 하였을 때는 두부의 경우 5명의 환자 중 1명의 상해만을 예측하였고 흉부의 경우도 1명을, 하지의 경우는 예측하지 못하였다. 또한 80%

를 기준으로 하였을 때는 흉부의 1명만을 예측할 수 있었다. SUV의 경우는 비교 가능한 실사고 데이터가 없으므로 비교하지 못하였다.

### 7. 결론

본 연구에서는 현재 국내 사정상 구축이 어려운 실사고 데이터베이스를 대체하기 위한 충돌 사고 데이터베이스를 구축하고 이를 이용한 운전자 상해 판정식 제작 방법을 다음과 같이 제시하였다.

- 1) 슬레드 모델의 검증과 입력값을 얻기 위해 NHTSA의 정면충돌 테스트 보고서를 수집하고 그 중 국산차량에 대한 가속도 펄스, 더미 위치와 더미 상해값을 정리하였다.
- 2) NHTSA 보고서에서 얻을 수 없는 가속도 펄스는 목표차량과 충돌속도와 무게가 같은 다른 차량들의 특성값을 이용하여 추정하였다.
- 3) 슬레드 모델의 검증을 위해 국내 실사고 데이터를 수집하고 정면충돌에서의 세단, SUV의 운전자인 경우를 분류하였다.
- 4) 운전석 슬레드 모델을 구성하고 더미를 HYBRID III 50%tile(FTSS-MBS)로 선정 후 NHTSA 테스트 보고서로 검증하고 실사고 데이터와 비교하였다.
- 5) 실사고 데이터의 데이터 항목과 NHTSA 보고서의 항목들을 조합하여 시뮬레이션 조건을 정하

Table 12 Comparison real world in-depth crash accident data and injury prediction equation

상해부위	No	AIS									
		실사고데이터				상해판정 확률(%)					
		Seat belt	Airbag	Size (%tile)	Speed (kph)	AIS	AIS 1	AIS 2	AIS 3	AIS 4	AIS 5
두부	1	X	O	25	31.1	3	45	36	29	26	25
	2	O	O	32	46.4	4	58	48	41	37	36
	3	X	O	25	46.4	2	79	73	66	62	61
	4	X	O	1	60.7	4	91	88	84	82	81
	5	O	O	32	31.1	2	22	16	13	11	10
흉부	1	O	O	32	46.4	4		75	50	30	
	2	X	O	75	46.4	3		96	89	78	
	3	X	O	25	46.4	3		89	72	54	
	4	O	O	82	60.7	3		99	96	92	
	5	O	O	32	31.1	3		23	10	4	
하지_L	1	O	O	82	60.7	3	69	67	66	59	57
하지_R	1	O	O	82	60.7	3	82	76	68	66	



고 충돌사고 데이터 베이스를 구축하였다.

- 6) 순서형 로지스틱 회귀분석을 이용하여 각 신체 부위별, AIS 등급별 상해판정식을 구축하였고 실사고 데이터의 상해 값과 판정식을 통한 예측 값을 비교하였다.

이와 같이 국내 차량에 대한 정보만을 이용함으로써 국내 차량에 특성을 고려한 상해 판정식을 구축하였고 이후 국내 실사고 데이터의 수집이 계속 이루어진다면 그 신뢰성을 더 높여 충돌사고 시 운전자의 상해를 예측함으로써 구급치료 시스템 구축 시 적용, 충돌사고에 의한 사망자 수를 줄이는데 기여 할 수 있을 것으로 보인다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 연구비 지원(11PTSI-C054118-03)으로 수행된 연구임.

## References

- 1) TAAS, <http://taas.koroad.or.kr/index.jsp>, 2012.
- 2) Y. Kim, K. Y. Jung, K. H. Cho, H. Kim, H. C. Ahn, S. H. Oh, J. B. Lee, S. J. Yu, D. I. Lee, T. H. Im, S. E. Kim and J. H. Park, "Preventable Trauma Deaths Rates and Management Errors in Emergency Medical System in Korea," Korean Society of Emergency Medicine, Vol.17, No.5, pp.388-389, 2006.
- 3) G. T. Kim and S. Y. Hong, "Epidemiology of Traumatic Accident Deaths," Korean Society of Emergency Medicine, Vol.13, No.1, pp.2-3, 2002.
- 4) ITARDA, <http://www.itarda.or.jp/english>, 2012.
- 5) GIDAS, <http://www.gidas.org>, 2012.
- 6) NHTSA, <http://www.nhtsa.gov>, 2012.
- 7) J. Augenstein, K. Diggs, S. Ogata, E. Perdeck and J. Stratton, Development and Validation of the Urgency Algorithm to Predict Compelling Injury, <http://www.nhtsa.gov>, 2001.
- 8) S. Kim and H. Y. Choi, Estimation of Injury Severity of Occupant Based on the Vehicle Deformation at Frontal Crash Accident, M. S. Thesis, Hongik University, Seoul, Korea, 2011.
- 9) G. Jeong, E. Lee and T. Ahn, "A Study of the Crash-pulse Shape for the Improvement of Crashworthiness," Korea Auto-vehicle Safety Association Spring Conference Proceedings, pp.13-18, 2010.
- 10) R. Eppinger, E. Sun, F. Bandak, M. Haffner, N. Khaewpong, M. Maltese, S. Kuppaa, T. Nguyen, E. Takhounts, R. Tannous, A. Zhang and R. Saul, Development of Improved Injury Criteria for the Assessment of Advanced Automotive Restraint Systems - II, <http://www.nhtsa.gov>, 1999.
- 11) S. Kuppaa, J. Wang, M. Haffner and R. Eppinger, Lower Extremity Injuries and Associated Injury Criteria, <http://www.nhtsa.gov>, 2001.
- 12) Size Korea, <http://www.sizekorea.kats.go.kr>, 2012.