

USNCAP 정면충돌시험 결과를 이용한 HIC15 예측모델 개발

임재문*

A Development on the Prediction Model for the HIC15 using USNCAP Frontal Impact Test Results

Jaemoon Lim*

Key Words: Frontal Impact(정면충돌), Crash Severity(충돌심각도), Prediction Model(예측모델), HIC(머리상해치), NCAP(자동차안전도평가)

ABSTRACT

This study is to develop the prediction model for the HIC15 in frontal vehicle crash tests. The 28 frontal impact test results of the MY2019 and MY2020 USNCAP are utilized. The metrics for evaluating the crash pulse severity such as moving average acceleration, Restraint Quotient (RQ) and ride-down efficiency are reviewed to find out whether the metrics can predict the HIC15. It is observed that the R^2 values based on the linear regression of all pairs between the existing metrics and the occupant injuries such as the HIC15, 3 ms chest g's and chest deflection are very low. In this study, using the vehicle crash pulses, the linear regression model for estimating the HIC15 is developed. The vehicle crash pulse is splitted seven 10 ms intervals in 70 ms after impact for extracting the average accelerations in each intervals. The prediction model can predict effectively not only the HIC15 but also the maximum head g's, chest deflection and 3 ms chest g's of 13 vehicles out of 28 vehicles.

1. 서론

자동차 충돌시 탑승자의 안전을 위협할 수 있는 충돌 심각도(Crash severity)는 자동차의 최대 속도 변화인 Delta-V와 평균 가속도(Average acceleration)의 크기 등을 통해 판단할 수 있다.⁽¹⁻⁴⁾ 그러나, NCAP(자동차안전도평가) 등과 같은 정형화된 시험에서는 충돌속도가 일정하므로, Delta-V 및 평균 감속도와 인체상해치의 상관관계가 크지 않다는 한계점이 있다.⁽¹⁻²⁾

Delta-V에 대한 대안으로는 승객의 평균 가속도로 정의되는 OLC(Occupant Load Criterion)가 제시되고 있으며, OLC를 보완한 방법도 제시되고 있다.^(1,4-6)

자동차 충돌시 탑승자 보호는 자동차의 구조 성능(Structural performance)과 에어백 및 안전벨트 등과 같은 구속장치의 성능(Restraint performance)에 의해 영향을 받는다. 자동차의 구조 성능을 평가하기 위한 방법으로는, 라이드다운 효율성(Ride-down efficiency), 이동평균가속도(Moving average acceleration) 등이 제시되고 있다.^(1-2,7) 구속장치의 성능은 구속장치 지수(Restraint Quotient) 및 운동에너지 지수(Kinetic Energy Factor)가 제시되고 있다.⁽²⁻³⁾

NCAP 등과 같은 시험에서는 충돌속도가 일정하지만, 자동차의 구조 성능과 구속장치 성능의 조합에 따라 다양한 형태의 탑승자 상해치 결과가 도출될 수 있다.⁽¹⁾

본 연구에서는 MY2019 및 MY2020에 실시된 USNCAP 정면충돌시험 결과 중 NHTSA 홈페이지에서 다운로드

* 대덕대학교 기계설계과, 교수
E-mail: jmlim@ddc.ac.kr

가능한 28종 자동차의 시험결과를 토대로 HIC15, 흉부 변형량(Chest deflection) 및 3ms 흉부가속도(Chest g's)와 같은 인체상해치와 충돌심각도, 구조 성능 및 구속장치 성능 사이의 상관관계를 검토하였다.

또한, 기존의 시험결과를 토대로 충돌 파형(Crash pulse)을 이용하여 머리상해치 예측(Prediction)이 가능한 선형회귀모델(linear regression model)을 개발하고자 하였다.

2. 충돌심각도 관련 평가 기준 요약

충돌심각도는 충돌시 자동차의 속도 변화(ΔV) 및 평균가속도(Average acceleration)로 구하며, 충돌파형(Crash pulse)을 적분하여 식 (1)과 식 (2)로부터 구할 수 있다.⁽¹⁻²⁾

$$\Delta V = V_{t=0} - V_{min} \quad (1)$$

$$a_{ave} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2)$$

OLC는 탑승자와 안전벨트의 초기 여유를 65mm로 가정하여, 충돌직후부터 65mm까지는 탑승자가 초기 충돌 속도로 자유운동으로 이동하며, 이후에는 이상적으로 구속되어 탑승자와 자동차의 상대거리가 235mm에 도달할 때까지 일정하게 감속한다고 가정하여 식 (3)과 같이 계산한다. 식 (3)에서 t_2 는 65mm 이동한 지점에서의 시간이며, t_3 는 자동차와 상대거리가 235mm에 도달했을 때의 시간이고, V_{occ} 는 각각의 시간에서의 탑승자의 속도이다.^(2,4-5) OLC는 자동차와 승객의 상대거리가 300mm가 되지 않는 경우에는 직접 계산할 수 없다는 단점을 가지고 있다.⁽⁴⁾

$$OLC = -\frac{V_{occ}(t_3) - V_{occ}(t_2)}{t_3 - t_2} \quad (3)$$

라이드다운 효율성(Ride-down efficiency) μ 는 식 (4)와 같이 탑승자의 단위질량당 에너지인 에너지밀도를 구하고, 식 (5)와 같이 자동차의 충돌에너지로 나누어 계산한다. μ 는 자동차의 전단부가 변형되면서 흡수된 운동에너지의 비율을 나타낸다.

$$e_{rd} = \int \ddot{x}_{occ} dx_v \quad (4)$$

$$\mu = \frac{(e_{rd})_{max}}{1/2 V_o^2} \quad (5)$$

식 (4)와 (5)에서 \ddot{x}_{occ} 는 탑승자 가슴부위의 가속도, x_v 는 자동차 실내(Vehicle compartment)의 변위, V_o 는 자동차의 초기충돌속도를 나타낸다.

구속장치 지수(Restraint Quotient, RQ)는 식 (6)과 같이, 탑승자 가슴부위의 자동차에 대한 상대속도를 ΔV 로 나누어 계산한다.⁽²⁻⁴⁾

$$RQ_c = \frac{V_{occ} - V_v}{\Delta V} \quad (6)$$

RQ_c 는 0~1의 범위에 있으며, 0인 경우에는 탑승자가 충돌 직후에 자동차의 내부와 완전하게 밀착되어 있는 것을 의미하고, 1인 경우에는 탑승자가 자동차의 내부에 2차 충돌할 때 ΔV 의 속도변화를 그대로 겪는 것을 의미한다.⁽²⁻⁴⁾

운동에너지 지수 E_c 는 탑승자 가슴부위의 자동차에 대한 상대속도의 최대값을 이용하여 식 (7)과 같이 계산한다. 여기에서 5²은 5m/s의 속도로 탑승자의 상대속도를 정규화(Normalize)하기 위한 것이다.⁽¹⁻³⁾

$$E_c = \frac{(V_{occ} - V_v)_{max}^2}{5^2} \quad (7)$$

이동평균가속도(Moving Average Acceleration)는 구간을 이동하면서 가속도의 평균값을 구하고 그 중에서 최대값을 사용하게 된다. 이동 평균은 10ms, 25ms 및 50ms 구간으로 구분하여 구할 수 있다.⁽¹⁻²⁾

3. USNCAP 고정벽 정면충돌 시험 결과

고정벽 정면충돌시험 데이터는 NHTSA에서 시행한 MY2019 및 MY2020 USNCAP 시험차 중 오류없이 다운로드 가능한 28종을 선택하였다.⁽⁸⁾ 시험차의 사양은 Table 1에 간략하게 나타내었다. Table 1에 나타낸 것과 같이, 시험차량은 준중형 세단부터 대형 SUV까지 다양한 차종으로 구성되어 있는 것을 알 수 있다.

주요 상해치인 HIC15, 머리부위 가속도 최대값, 흉부 변형량 및 3ms Chest g's는 Fig. 1~Fig. 4에 운전석 탑승자 결과는 왼쪽 막대그래프에 탑승자석 탑승자는 오른쪽

Table 1 Specifications of tested vehicles

No.	Vehicle	Type	Weight	Engine Displacement	Impact Velocity
1	V10387	Sedan	1,530 kg	1,500 cc	56.07 kph
2	V10391	MPV	2,199 kg	2,400 cc	56.32 kph
3	V10555	Hatchback	1,646 kg	2,000 cc	56.71 kph
4	V10556	SUV	1,988 kg	2,000 cc	56.02 kph
5	V10562	SUV	2,933 kg	5,600 cc	56.61 kph
6	V10576	Sedan	1,261 kg	1,600 cc	56.13 kph
7	V10635	MPV	1,770 kg	2,500 cc	56.14 kph
8	V10642	SUV	2,328 kg	3,000 cc	56.34 kph
9	V10647	SUV	1,971 kg	2,400 cc	56.13 kph
10	V10648	SUV	1,964 kg	2,400 cc	56.34 kph
11	V10651	Hatchback	1,550 kg	2,000 cc	56.41 kph
12	V10656	Sedan	1,889 kg	3,500 cc	56.19 kph
13	V10680	SUV	2,884 kg	5,300 cc	56.62 kph
14	V10690	SUV	2,732 kg	5,300 cc	56.73 kph
15	V10704	SUV	1,790 kg	2,500 cc	56.27 kph
16	V10712	SUV	1,371 kg	1,600 cc	56.48 kph
17	V10713	SUV	1,983 kg	2,000 cc	56.48 kph
18	V10721	SUV	1,825 kg	2,000 cc	56.01 kph
19	V10763	MPV	1,607 kg	1,600 cc	56.56 kph
20	V10770	Sedan	1,714 kg	2,500 cc	56.62 kph
21	V10830	SUV	1,495 kg	2,000 cc	56.44 kph
22	V10836	SUV	1,715 kg	1,500 cc	56.10 kph
23	V10914	Sedan	1,625 kg	1,500 cc	56.24 kph
24	V10917	SUV	1,946 kg	2,000 cc	56.88 kph
25	V10918	SUV	2,394 kg	3,600 cc	56.57 kph
26	V10966	Sedan	1,333 kg	1,600 cc	56.21 kph
27	V10976	Hatchback	1,362 kg	1,600 cc	56.37 kph
28	V10982	Sedan	2,126 kg	2,000 cc	56.82 kph

쪽 막대그래프에 각각 나타내었다. 그림에서 보는 것과 같이 대체로 자동차마다 운전자석과 탑승자석의 승객상해치의 경향이 일치하지 않고 서로 다른 특성을 보여주는 것을 알 수 있다.

4. 결과 분석

본 연구에서는 2절에 제시된 방법들 중에서 라이드다운 효율성 μ , 구속장치 지수 RQ_c , 운동에너지 지수 E_c , OLC 및 이동 평균 가속도를 구하고, 3절에 나타난 인체상해치와의 상관관계를 분석하였다.

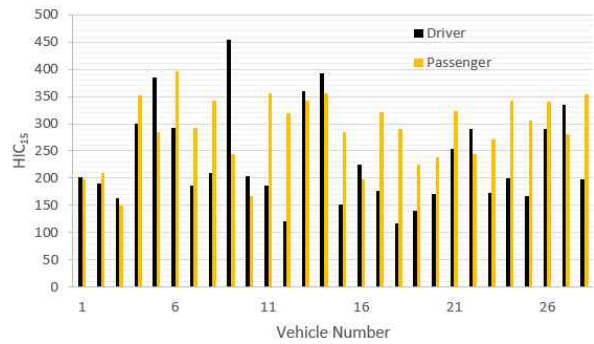


Fig. 1 HIC15 (Head Injury Criterion)

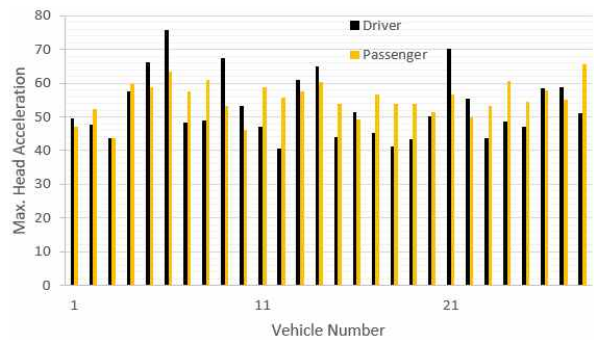


Fig. 2 Maximum head acceleration

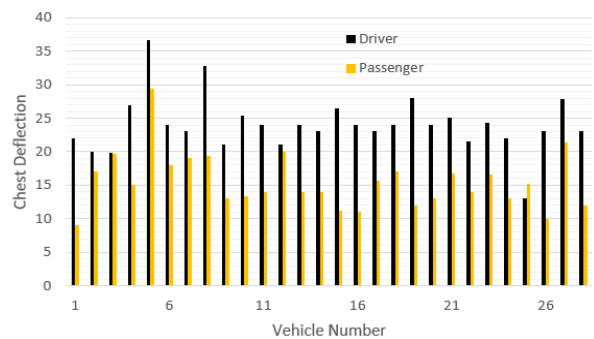


Fig. 3 Chest deflection

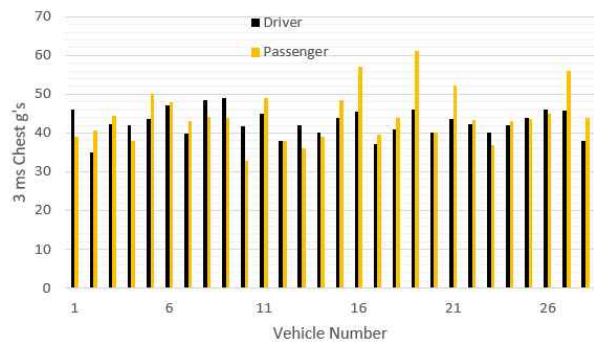


Fig. 4 3 ms chest g's

Fig. 5는 운전자석과 탑승자석의 인체모형(Dummy)과 차실내의 상대거리를 나타낸 것이다. 상대거리는 B 필라에서 측정된 가속도 값과 인체모형의 가속도 값을 두 번 적분하여 구한 변위의 차이를 나타낸 것이다.

Fig. 5에 나타낸 것과 같이 운전석 및 탑승자석 탑승자의 가슴과 자동차의 최대 상대거리는 300mm를 넘지 않는 경우가 대부분이다. 본 연구에서 OLC는 탑승자의 속도가 변하는 시점부터 자동차와 상대속도가 0이 되는 지점까지의 구간에서 구하였다.

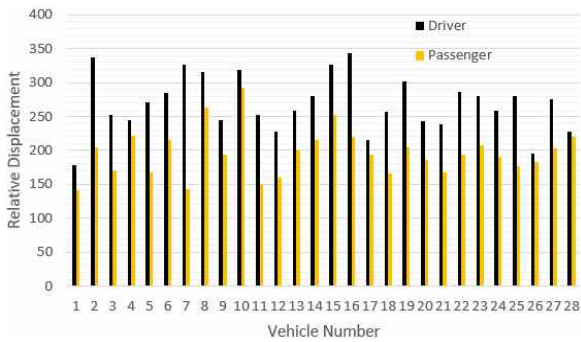


Fig. 5 Maximum relative displacement between occupant chest and vehicle compartment

라이드다운 효율성 μ , 구속장치 지수 RQ_c , 운동에너지 지수 E_c , OLC 및 이동 평균 가속도는 Fig. 6~Fig. 10에 각각 나타내었다. Fig. 6~Fig. 10에서 보는 것과 같이, 운전자석과 탑승자석의 지수(Metrics) 값들이 서로 일관성 있는 경향이 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 이는 자동차 차체의 특성에 기인한 것 보다는 운전자석과 탑승자석의 구속장치인 에어백 및 안전벨트 등의 특성에 따른 결과일 것으로 추정할 수 있다.

라이드다운 효율성 μ 은 높은 값을 가질수록 차체에서

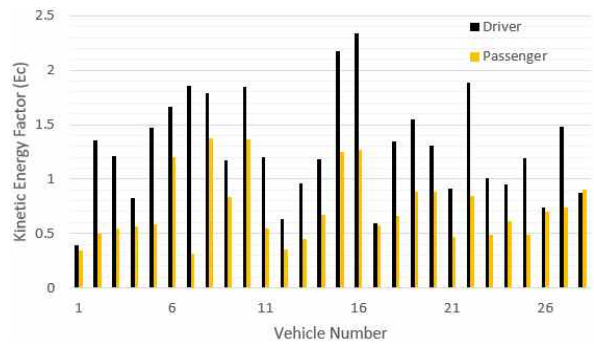


Fig. 8 Kinetic Energy Factor (E_c)

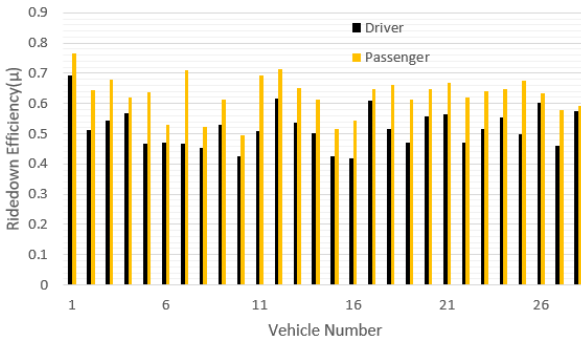


Fig. 6 Ridedown efficiency (μ)

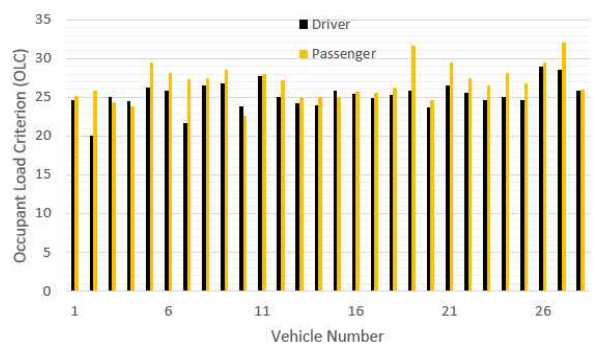


Fig. 9 OLC (Occupant Load Criterion)

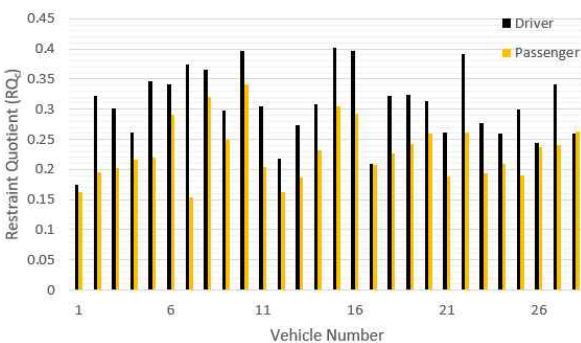


Fig. 7 Restraint Quotient (RQ_c)

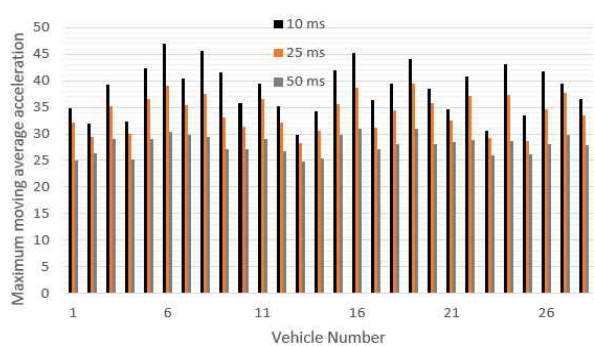


Fig. 10 Maximum moving average accelerations (MMAA)

충돌에너지 흡수 효율이 좋은 것을 의미한다^(1~2). 구속장치 지수 RQ_c 및 운동에너지 지수 E_c 는 낮을수록 구속장치가 탑승자를 효과적으로 구속할 수 있으며 탑승자에게 운동에너지가 적게 전달되는 것을 의미한다^(1~3).

Fig. 9는 OLC(Occupant Load Criterion)를 나타낸 것으로, 운전자석 보다는 탑승자석 탑승자의 값이 전체적으로 높게 나오는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 차체의 이동평균가속도를 10ms, 25ms 및 50ms 구간으로 구분하여 각각 구하고, 각각의 이동평균가속도의 최대값을 나타낸 것이다. 평균값을 구하는 시간 간격이 짧을수록 전체적으로 이동평균가속도값이 더 크게 나왔으나, 시간 간격에 따른 구간 사이의 값 차이가 큰 자동차도 있는 반면에 그 차이가 크지 않은 자동차도 있는 것을 알 수 있다. 이는 자동차 별로 각각의 차체에서 충돌에너지를 제어하는 특성이 다르게 설정된 것에 따른 결과라고 추정된다.

인체상해치와 각 지수(Metrics) 사이의 상관관계는 Table 2~Table 3에 운전자석과 탑승자석을 구분하여 결정계수인 R^2 값으로 각각 나타내었다. R^2 값이 클수록 정확도가 높은 것을 의미한다.⁽⁹⁾ Table 2~Table 3에서 보는 것과 같이 전체적으로 HIC15, 머리부위 가속도 최대값 및 흉부변위량은 라이드다운 효율성 μ 을 비롯한 각각의 지수와 상관관계가 거의 없거나 작은 값을 보여주고 있다. 이는 Park의 연구결과⁽²⁾와도 일치하는 경향임을 알 수 있다.

3ms Chest g's만이 OLC 및 최대 이동평균가속도값과 어느 정도 상관관계가 있음을 보여주고 있으나, 상호 적합도가 높지는 않은 것을 알 수 있다. OLC 및 최대 이동

Table 2 Linear regression results between metrics and driver injuries

R^2	HIC15	Head Peak Acceleration	Chest Deflection	3 ms Chest g's
μ	0.0100	0.0092	0.0974	0.0447
RQ_c	0.0310	0.0311	0.1082	0.0615
E_c	0.0087	0.0142	0.0025	0.0857
OLC	0.0721	0.0659	0.0966	0.4466
MMAA (10 ms)	0.0006	0.0129	0.1294	0.3414
MMAA (25 ms)	0.0026	0.0030	0.1739	0.2512
MMAA (50 ms)	0.0300	0.0002	0.1251	0.1495

Table 3 Linear regression results between metrics and passenger injuries

R^2	HIC15	Head Peak Acceleration	Chest Deflection	3 ms Chest g's
μ	0.0002	0.0149	0.0013	0.0578
RQ_c	0.0217	0.0049	0.0276	0.0589
E_c	0.0275	0.0079	0.0430	0.0964
OLC	0.0524	0.0983	0.0850	0.5092
MMAA (10 ms)	0.0001	0.0157	0.0042	0.3886
MMAA (25 ms)	0.0015	0.0061	0.0122	0.5153
MMAA (50 ms)	0.0068	0.0023	0.0320	0.6155

평균가속도값을 이용하여 3ms Chest g's를 예측하는 모델을 만들 수는 있으나, 오차가 상당히 크게 나올 수 있을 것으로 예측되어, 신차 개발 등에 사용하기는 어려울 것으로 보인다.

5. 인체상해치 예측 모델 개발

Fig. 11은 V10387 자동차의 B 필라에서 측정된 충돌가속도 파형과 이를 적분하여 구한 속도 곡선을 나타내고 있다. 또한, 운전자석 탑승자의 머리 및 가슴부위의 가속도곡선을 나타내었다. 가속도 파형은 전체적으로 -1을 곱해서 나타내었다. 시험 자동차의 결과들을 보면 Fig. 11에 나타낸 것과 같이, 충돌 후 자동차의 속도는 대체로 75ms 근방에서 0이 되고 고정벽으로부터 리바운드되어 나오는 것을 알 수 있다.⁽⁸⁾

차체 가속도파형을 제어하여 자동차 충돌성능을 향상

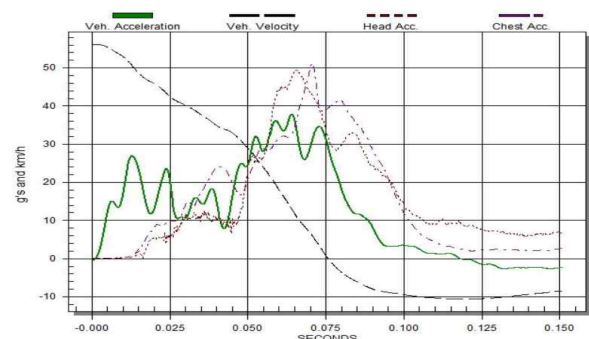


Fig. 11 Crash pulse and velocity of V10387

시키기 위한 노력들이 발표되어 왔다.^(10~11) Shi의 경우에는 가속도파형을 충돌파형 특성에 따라 구간을 구분하고 구속조건을 부여하여 최적화기법으로 충돌 특성을 개선하고자 하였다.⁽¹⁰⁾ Wei의 경우에는 가속도 파형을 구간별로 선형화하여 자동차의 다양한 충돌 속도에 따른 거동(Kinematics)을 예측하기 모델을 제시하였다.⁽¹¹⁾

본 연구에서는 Table 2~Table 3에 나타난 OLC나 이동평균가속도값이 3ms Chest g's에 어느 정도의 연관성이 있는 것에 착안하여, B 필라에서 측정된 차체의 가속도파형 곡선을 이용하여 인체상해치를 예측하는 모델을 개발하고자 하였다.

차체 가속도파형은 70ms 범위내에서 10ms 간격으로 구간을 구분하였으며, 구간내의 가장 큰 가속도값을 선택하는 것이 아니고, 가속도파형을 적분한 속도곡선에서 각각의 구간별로 식 (2)에 나타난 것과 같이 평균가속도를 구하는 것으로 하였다. 70ms 이후는 인체상해치에 크게 영향을 주지 않을 것으로 판단되어 제외시켰다. 차체 가속도파형은 Fig. 11에도 나타난 것과 같이 피크의 크기가 좁은 시간 영역에서 다양하게 나타나므로, 구간의 크기를 10ms로 구분하는 것이 보다 적절할 것으로 파악하였다.

인체상해치를 예측하기 위한 모델은 식 (8)과 같이 구성하였으며, IC는 각각의 예측된 인체상해치를 나타내며, β 는 선형회귀분석 과정을 거쳐 구해지는 계수이고,⁽¹²⁾ A_{nms} 는 10ms 구간별로 구한 평균가속도값을 나타낸다.

$$IC = \beta_0 + \beta_1 A_{10ms} + \beta_2 A_{20ms} + \beta_3 A_{30ms} + \beta_4 A_{40ms} + \beta_5 A_{50ms} + \beta_6 A_{60ms} + \beta_7 A_{70ms} \quad (8)$$

Fig. 12는 식 (8)을 이용하여 구한 운전석 탑승자의 HIC15 예측값과 시험값들의 상관관계를 분석한 것이다. 결정계수인 R^2 값이 0.2883으로 높지 않으며, 예측값과

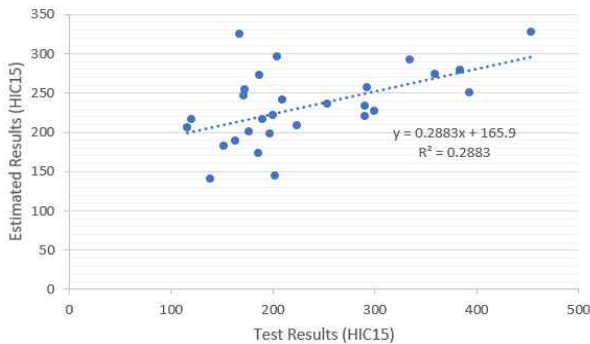


Fig. 12 Linear regression results between test and estimated results of HIC₁₅

시험값 사이의 오차도 0.3%~79% 까지 다양하게 분포하였다.

Fig. 12에 나타난 결과에서 오차가 20% 이상 되는 자동차들을 제외하고, 13차종(V10391, V10555, V10576, V10635, V10642, V10704, V10712, V10713, V10763, V10830, V10917), V10976, V10982)을 선택하여, 축소된 모형으로 식 (8)에 나타난 예측모형을 다시 구성하였다. 축소된 예측모형에 따른 식 (8)의 계수들은 운전자석과 탑승자석으로 구분하여 Table 4~Table 5에 나타내었다.

Fig. 13은 축소된 모형으로 구한 HIC15 예측값과 시험값의 상관관계를 분석한 것이다. 결정계수인 R^2 값이 0.9627로 매우 높게 나와 상호적합도가 좋아 예측모형로서 적절한 것을 알 수 있다.

Fig. 13에서 V10635 자동차의 오차가 12%를 나타낸 것을 제외하고는 전체적으로 5% 범위내에 들어 식 (8)이

Table 4 Coefficients of linear regression model for the reduced model (driver)

Coefficient	HIC15	H. Peak A.	Chest Defl	3 ms g's
β_0	-23.3643	-86.7980	-14.7630	-9.7190
β_1	-7.8610	-1.4995	0.2769	-0.1655
β_2	3.3585	0.82901	0.2998	0.3464
β_3	7.0892	1.8694	0.5891	0.4525
β_4	5.0903	1.1534	0.2645	0.2481
β_5	9.9924	3.3746	0.1822	0.6112
β_6	-7.0620	-2.0829	0.1302	0.2206
β_7	-2.1283	1.5357	0.1594	0.1984

Table 5 Coefficients of linear regression model for the reduced model (passenger)

Coefficient	HIC15	H. Peak A.	Chest Defl	3 ms g's
β_0	-1180.69	-37.5019	35.7579	-11.3569
β_1	-2.0652	0.1645	-0.4152	0.6619
β_2	4.8181	0.2192	-0.1287	0.6095
β_3	28.0290	1.7563	0.5459	-1.0312
β_4	9.9291	0.5153	-0.1509	0.5803
β_5	24.5221	1.6424	0.2064	0.0646
β_6	-17.9418	-1.1496	-0.4887	1.0723
β_7	19.5458	1.2752	-0.2919	0.0315

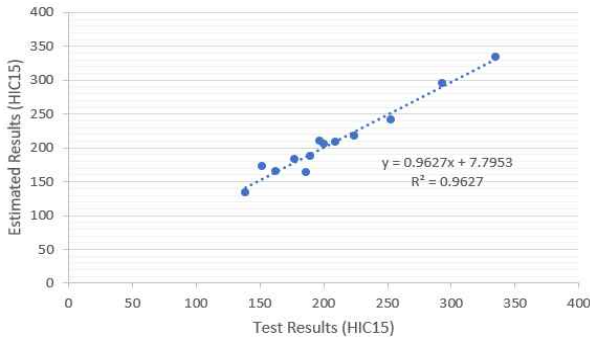


Fig. 13 Linear regression results between test and estimated results of HIC15 for the reduced model

HIC15를 비교적 정확하게 예측할 수 있는 것을 확인하였다.

Chest g's의 시험결과와 예측결과의 오차는 모두 10% 이내에 들어갔으며, 머리부위 최대가속도값은 V10917 차종이 13%의 오차를 나타낸 것을 제외하고는 10% 이내에 들어간 것을 확인하였다.

Table 6에는 인체상해치들의 예측값과 시험값의 회귀 분석을 통해 구한 결정계수인 R^2 값을 나타내었다. 운전자석은 흉부변형량을 제외하고는 전체적으로 높게 나타났으며, 탑승자석의 3ms Chest g's를 제외하고는 상호적합도가 다소 낮게 나온 것을 알 수 있다.

흉부변형량을 예측하는 모델은 운전자석과 탑승자석 모두 낮은 편임을 알 수 있으며, 이는 예측모델이 차체 가속도의 변화값을 토대로 구성된 것에 따른 것으로 파악된다. 현재로서는 흉부변형량을 적절하게 예측하는 방법은 거의 없는 것으로 파악되고 있다. Table 6에 나타난 것과 같이 운전자석의 흉부변형량의 결정계수인 R^2 값이 0.6604로 낮은 편이지만, V10917 자동차가 예측값과 시험값 사이에 오차가 21%인 것을 제외하고는 전체적으로 10% 범위내에 들어가는 것으로 나타났으며, 초기 개발단계에서는 사용 가능하다고 보여진다.

Table 6 Linear regression results between test and estimated results of occupant injuries

R^2 (Test vs Estimation)	Driver	Passenger
HIC15	0.9627	0.6444
Head Peak Accel.	0.8899	0.4705
Chest Deflection	0.6604	0.5220
3 ms Chest g's	0.8505	0.8306

6. 결론

MY2019 및 MY2020 USNCAP에서 시행된 정면충돌 시험 중 28 차종의 시험 결과를 이용하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 선형회귀분석을 통해 인체상해치와 충돌심각도를 예측하는 라이드다운 효율성(Ridedown Efficiency) μ , 구속장치 지수(Restraint Quotient) RQ_c , 운동에너지 지수(Kinetic Energy Factor) E_c , OLC (Occupant Load Criterion) 및 이동평균가속도(Moving Average Acceleration) 사이에는 결정계수인 R^2 값이 작게 나타나 상호적합도가 낮은 것을 알 수 있었다.
- 2) 차체 가속도파형을 70ms 구간까지 10ms 간격으로 7개의 구간으로 구분하고, 각 구간내에서 평균 가속도를 구하여 인체상해치를 예측하는 모델을 구성하였다. 28차종 전체에서는 결정계수인 R^2 값이 낮으며, 예측값과 시험값 사이의 오차도 크게 나오는 것을 확인하였다.
- 3) 28개의 차종 중에서 HIC15의 시험값과 예측값의 오차가 20% 이내인 13개 차종을 선택하여 구성된 예측모델은 운전자석에서는 결정계수인 R^2 값이 대체로 높게 나타났지만, 탑승자석에서는 3ms Chest g's를 제외하고는 대체로 낮게 나타나는 것을 확인하였다.
- 4) 13개 차종으로 구성한 예측모델에서, 운전자석의 HIC15의 시험결과와 예측결과의 오차는 V10635 차량의 오차가 12%인 것을 제외한 나머지 차량의 오차 5% 이내에 들어가는 것을 확인하였다. 머리부위 최대가속도, 3 ms Chest g's 및 흉부변형량의 오차는 전체적으로 10% 정도의 범위내에 들어가는 것을 확인하였다.
- 5) 예측모델은 운전자석의 인체상해치는 비교적 정확하게 예측할 수 있었으나, 탑승자석의 인체상해치는 정확도가 다소 떨어지는 것을 확인하였다.
- 6) 본 논문에서는 차체의 가속도파형을 이용하여 머리상해치 예측모델을 구성하였으며, 인체상해치 예측모델 구성의 가능성을 확인하였다. 적절한 요인들이 추가적으로 더해지거나 차체 가속도파형 외에 새로운 요인을 찾아내어 추가할 수 있다면 보다 정확한 머리상해치 예측모델 뿐만 아니라 가슴상해치 예측모델의 구성도 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Gabauer, D. J. and Gabler, H. C., 2008, “Can Delta-V be Adjusted with Structural and Occupant Restraint Performance to Improve Prediction of Chest Acceleration?”, 52nd AAAM Annual Conference, October, 2008.
- (2) Park, C. K. and Kan, C. D., 2015, “Objective Evaluation Method of Vehicle Crash Pulse Severity in Frontal New Car Assessment Program (NCAP) Tests”, Paper No. 15-0055, 24th Enhanced Safety of Vehicles Conference, Gothenburg, Sweden, June 8-11.
- (3) Viano, D. C. and Arepally, S., 1990, “Assessing the Safety Performance of Occupant Restraint Systems”, SAE Paper No. 902328.
- (4) Wusk, G. and Gabler, H., 2017, “Evaluation of Vehicle-based Crash Severity Metrics Using Event Data Recorders”, 25th Enhanced Safety of Vehicles Conference, Detroit, Michigan USA, June 5-8.
- (5) Kübler, L., Gargallo, S. and EläBer, K., 2009, “Frontal Crash Pulse Assessment with Application to Occupant Safety”, ATZ World-wide 111, 12-17.
- (6) Metzger, J., Kübler, L. and Gargallo, S., 2010, “Characterization and Evaluation of Frontal Crash Pulses for USNCAP 2011”, Airbag 2010 – 10th International Symposium and Exhibition on Sophisticated Car Occupant Safety Systems, December 6-8.
- (7) Huang, M., 2002, Vehicle Crash Mechanics, CRC Press.
- (8) NHTSA, 2020, Vehicle Crash Test Database, <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/databases/VSR/veh/QueryVehicle.aspx>.
- (9) 홍관수, 2017, 엑셀을 활용한 통계자료분석, 경문사.
- (10) Shi, Y., Wu, J. and Nusholtz, G. S., 2003, “Optimal Frontal Vehicle Crash Pulses – A Numerical Method for Design”, Paper No. 514, 18th Enhanced Safety of Vehicles Conference, Nagoya, Japan, May 19-22.
- (11) Wei, Z., Karimi, H. R. and Robbersmyr, K. G., 2015, “A model of vehicle-fixed barrier frontal crash and its application in the estimation of crash kinematics”, Paper No. 15-0161, 24th Enhanced Safety of Vehicles Conference, Gothenburg, Sweden, June 8-11.
- (12) Montgomery, D. C., 1997, Design and Analysis of experiments, Fourth Edition.