2011년 모델에 대한 정면 미국신차안전도평가 결과에 대한 통계적 분석

범 현 균*

한국지엠 기술연구소

Statistical Review for USNCAP Front Crash Test Results in MY2011

Hyenkyun Beom*

Technical Center, GM Korea, 199-1 Cheongcheon-dong, Bupyeong-gu, Incheon 403-714, Korea

(Received 10 November 2011 / Revised 21 February 2012 / Accepted 12 March 2012)

Abstract : New car assessment program (NCAP) originated from USNCAP in 1979 has been implemented in several countries or markets, for instance USA, Europe, Korea, Japan, China and Australia. NCAP has contributed greatly to reduce accidental tolls. But recently, NCAP performance has no distinction between cars because manufacturer have been continuously developed to improve NCAP performance. Therefore, NHTSA announced new USNCAP protocol becoming effective from MY2011. NHTSA had carried out many NCAP tests based on the new test protocol and announced these test results.

In this paper, USNCAP test results were reviewed by statistical method. This review was focused on passenger cars and frontal crash test results in order to investigate effect of changes in new NCAP protocol. There are two key changes, one is sited female dummy in passenger position, the other is enlarged to 4 scoring body regions in each dummy. Results of this review were summarized as followings. Performance in Passenger (12.5%) is lower than Driver's (50%) for number of 5 star vehicle. Neck injury criterion is dominant to NCAP star rating for both dummies in the mean sense. For standard deviation, chest deflection is showed largest value in driver dummy but neck injury criterion is showed for passenger's. DKAB and PKAB were equipped 28.1% and 6.2%, respectively. Consequently, the countermeasure for new USNCAP frontal crash test is essential to control well dummy kinematics with some safety features including KAB to reduce neck injuries.

Key words : USNCAP(미국신차안전도평가프로그램), NHTSA(미국도로교통안전국), H350(Hybrid III Male 50th %-ile Dummy, 성인남성 인체모형), H305(Hybrid III Female 5th %-ile Dummy, 여성 인체모형), HIC(머리상해 지수), Nij(목상해지수), Chest deflection(흉부변형), Femur load(대퇴부하중), DKAB(운전석무릎에어백)

Nomenclature

P	: probability
HIC	: head injury criterion
Nij	: neck injury criterion
B, C, D, E	: each segment of passenger car
DAB	: driver air bag
PAB	: passenger air bag

DKAB	: driver knee air bag
PKAB	: passenger knee air bag
PT	: belt pre-tensioner
LL	: belt load limiter

1. 서론

현재 세계 각국에서는 자국의 상황에 맞는 자동차 안전 법규를 제정하여 최소한의 자동차 안전도 확보를 하고 있다. 이와 더불어 국가별 혹은 지역별

*Corresponding author, E-mail: hyenkyun.beom@gm.com

로 소비자의 보다 높은 차량안전 요구를 만족시키기 위하여, 법규와는 별도로 신차안전도평가 프로그램(NCAP; New Car Assessment Program)을 개발하여 시행하고 있다. 비록 신차안전도평가 프로그램이 법적 강제성은 없지만, 법규보다 강화된 시험 조건과 차별화된 안전성능 평가(Star Rating) 방법으로 소비자들의 신차구입시 차량간의 안전성능 비교 기준으로서 영향력이 매우 크다. 이러한 신차안전도 평가시험은 1979년부터 미국(USNCAP)에서 처음 시행되었으며, 점차 유럽(Euro NCAP), 일본(JNCAP), 호주(ANCAP), 한국(KNCAP) 그리고 중국(CNCAP) 등으로 확대되었다.

신차안전도평가 프로그램이 시행되고, 자동차 제조사들의 적극적인 대응으로 자동차 사고에 의한 사망자 및 부상자 감소에 크게 기여하였다. 그러나 점차 충돌안전성능의 상향 평균화로 신차안전도평가에 대한 변별력이 떨어짐에 따라, 각국의 안전도평가 시험에 대한 재검토 및 새로운 방식에 대한 검토가 이루어졌으며, 각국의 새로운 신차안전도평가 시험이 이미 시행단계에 있다. 특히 미국, 유럽 그리고 한국의 신차안전도 평가시험방법은 최근 몇 년 동안 큰 변화를 맞이하였다.

본 연구에서는 2011년부터 새롭게 개정되어 시행되고 있는 미국 신차안전도평가¹⁾(USNCAP) 시험 중 정면충돌성능에 대하여 고찰하고자 한다. 새로운 평가방법이 처음 적용된 2011년 모델에 대한 미국도로교통안전국(NHTSA) 시험 결과²⁾를 통계적 방법을 적용하여, 주로 여성 더미 영향과 4영역으로 확대된 바디 평가 부위와 평가항목 변경이 새로운 NCAP성능에 미치는 영향을 분석하였다. 통계분석에 이용된 데이터 샘플은, 한국의 교통상황을 고려하여 승용차 32대로 한정하여 결과를 분석하였으며, SUV와 트럭은 제외하였다. 그리고 시험 모드는 정면 충돌 시험 결과만 분석하였다. 끝으로 안전시스템에 대한 안전성능에 미치는 영향도 간단히 언급하였다.

2. New USNCAP Front Crash Test 개요

상세한 시험 결과를 분석하기 위하여, 새롭게 개정된 북미신차안전도 평가 방법에 대하여 좀더 상

Fig. 1 Test configuration for USNCAP frontal crash test

세하게 고찰해 볼 필요성이 있다. 새롭게 개정된 시험 방법은 Fig. 1과 같이 운전석에 남성 성인 평균 더미(Hybrid III 50th %ile male; H350)와 여성 성인 소형 더미(Hybrid III 5th %ile female; H305)를 착석시킨 차량을 시속 56kph로 전진하여 고정벽면에 충돌시킨다.

이때 각각의 더미에 장착된 센서로부터 측정된 데이터를 이용하여 Table 1과 Table 2 나타낸 식을 이용하여 더미 4부위(머리, 목, 흉부 그리고 대퇴부)의 점수를 각각 산출하게 된다.

Table 1 Injury risk curve for frontal NCAP in H350 Dummy

Injury Risk Curves for Frontal NCAP (Hybrid 50M dummy):	
Injury Criteria	Risk Curve
Head (HIC ₁₅)	$P_{head}(AIS\ 3+) = \Phi\left(\frac{\ln(HIC15) - 7.45231}{0.73998}\right)$ where Φ = cumulative normal distribution
Chest (deflection in mm)	$P_{chest_defl}(AIS\ 3+) = \frac{1}{1 + e^{10.5456 - 1.568 * (ChestDefl)^{0.4612}}}$
Femur (force in kN)	$P(AIS\ 2+) = \frac{1}{1 + e^{5.795 - 0.5196 * Femur_Force}}$
Neck (Nij and tension/compression in kN)	$P_{neck_Nij}(AIS\ 3+) = \frac{1}{1 + e^{3.2269 - 1.9688 * Nij}}$ $P_{neck_Tens}(AIS\ 3+) = \frac{1}{1 + e^{10.9745 - 2.375 * Neck_Tension}}$ $P_{neck_Comp}(AIS\ 3+) = \frac{1}{1 + e^{10.9745 - 2.375 * Neck_Compression}}$ $P_{neck} = \max(\min(P_{neck_Nij}, P_{neck_Tens}, P_{neck_Comp}))$

Table 2 Injury risk curve for frontal NCAP in H305 dummy

Injury Risk Curves for Frontal NCAP (Hybrid 5F dummy):	
Injury Criteria	Risk Curve
Head (HIC ₁₅)	$P_{head}(AIS\ 3+) = \Phi\left(\frac{\ln(HIC15) - 7.45231}{0.73998}\right)$ where Φ = cumulative normal distribution
Chest (deflection in mm)	$P_{chest_defl}(AIS\ 3+) = \frac{1}{1 + e^{10.5456 - 1.7212 * (ChestDefl)^{0.4612}}}$
Femur (force in kN)	$P(AIS\ 2+) = \frac{1}{1 + e^{5.7949 - 0.619 * Femur_Force}}$
Neck (Nij and tension/compression in kN)	$P_{neck_Nij}(AIS\ 3+) = \frac{1}{1 + e^{3.2269 - 1.9688 * Nij}}$ $P_{neck_Tens}(AIS\ 3+) = \frac{1}{1 + e^{10.958 - 3.770 * Neck_Tension}}$ $P_{neck_Comp}(AIS\ 3+) = \frac{1}{1 + e^{10.958 - 3.770 * Neck_Compression}}$ $P_{neck} = \max(\min(P_{neck_Nij}, P_{neck_Tens}, P_{neck_Comp}))$

USNCAP의 상해 곡선은 대퇴부 상해 확률을 제외하고 모든 부위의 상해 기준은 중상을 입을 확률, 즉 AIS 3+를 기준으로 되어 있다. 참고로 AIS³⁾ (Abbreviated Injury Scale)는 1등급(minor)에서 6등급(사망)까지 6단계로 이루어져 있다. Table 3에 각 바디 부위별 AIS 상해 기준과 미국정면충돌 법규항목인 FMVSS208에서 규제하고 있는 상해 상한값을 표기하였다.

각각의 더미(운전자/승객)에서 각각의 4부위 바디 영역(머리, 목, 흉부 그리고 대퇴부)별 최소 점수를 계산하여, 각각의 운전석과 조수석의 정면충돌 성능을 식(1)과 같이 P_{joint} 를 구하여 구간별 값에 따라 star rating을 실시한다.

$$P_{joint} = 1 - (1 - P_{head})(1 - P_{neck})(1 - P_{chest})(1 - P_{femur}) \quad (1)$$

예를 들면, 식 (1)에서 구한 P_{joint} 값이 0.1 이하이면 5star, 0.15 이하이면 4star이다.

운전자와 조수석 더미에 대하여 각각 star rating한 후, 두 더미의 충돌성능을 산술 평균하여 전체 정면충돌성능에 대한 combined star rating을 하고, 최종적으로 측면충돌성능과 통합하여 차량 전체 충돌성능에 대한 Overall rating을 하게 된다. 그리고 신 NCAP에서 새롭게 도입된 흉부변형량은, 기존의 흉부가속도 평가 방식보다는 현재 승용차의 에어백 장착의무화로 순간적 흉부충격보다는 전체적인 흉부압박에 의한 침투 변형량이 승객의 상해 측정에 보다 타당한 것으로 보인다. 또한 목상해 부분에서는 목인장, 목압축하중 보다는 목상해지수, 즉 목하중과 목모멘트에 의해 산정되는 지수에 의한 평가

결과가 목성능에 결정적 역할을 한다. 목성능인자로서 목모멘트가 중요하며, 이것은 더미의 운동과 안전시스템, 즉 벨트, 에어백 등 승객의 운동을 제한하는 장치와의 조합이 평가결과에 중요한 인자로 작용한다.

3. NHTSA 정면 충돌 시험 결과 및 분석

전체 시험 차량의 목록과 시험결과 및 안전 장치 장착 유무에 대한 내용은 Appendix A)에 상세하게 나타내었으며, 승용차 세그먼트 분류 기준인 B,C,D 그리고 E로 분류하였으며, 세그먼트 별 차종 분포는 각각 2, 11, 14 그리고 5대이며, 전체 시험차량 샘플은 32대 차량이다. 이중 5star 차량은 운전석 16대(50%), 조수석 4대(12.5%) 그리고 통합 정면충돌성능 6대(18.8%) 차량 이었다. 상세 결과는 Table 4에 표시하였다.

또한 Table 4의 결과를 Fig. 2에 차량의 세그먼트 별로 분포를 막대그래프로 나타내었다. Fig. 2에서 조수석이 운전석보다 5star를 획득하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 통합 정면충돌성능이 5star인 차량이 6대(18.8%)로서 조수석보다 많은 이유는 통합정면충돌성능 산출방법이 운전석과 조수석 성능의 산술 평균으로 정의 되어 있기 때문이다.

Appendix A)에서 정면충돌성능과 관련된 안전장치로는 먼저 운전석에어백과 조수석에어백을 들 수 있는데 미국에서는 두 에어백 모두 법제화 되어 있다. 다른 장치로는 무릎에어백과 좌석 벨트 관련 장치가 있다. 무릎에어백 장착율은 운전석 28.1% 조수석 6.2% 등으로 현재는 낮은 수준이지만, 향후 성능향상을 위하여 장착율이 높아질 것으로 예상된다. 그리고 좌석 벨트 Pre-tensioner나 Load limiter의 경우에는 1차량을 제외하고는 전 차량이 장착되어 있다.

Table 3 Star rating range for regions in each dummies

Dummy	USNCAP Front Crash Test				FMVSS208 Compliance
	Region	Injury	Unit	Injury Level	
H350	Head	HIC15		AIS 3+	700
	Neck	Nij		AIS 3+	1
		Tension & Comp	kN	AIS 3+	4.17/2.62
	Chest	Deflection	mm	AIS 3+	63
	Femur	Acceleration	g	None	60
H305		Femur Force	kN	AIS 2+	10
	Head	HIC15		AIS 3+	700
	Neck	Nij		AIS 3+	1
		Tension & Comp	kN	AIS 3+	2.62/2.52
	Chest	Deflection	mm	AIS 3+	52
		Acceleration	g	None	60
	Femur	Femur Force	kN	AIS 2+	6.8

Table 4 No. of vehicles for USNCAP front rating

Segment	Total Vehicle	Driver (H350)			Passenger (H305)			Combined (0.5*D+0.5*P)		
		5 stars	4 stars	3 stars	5 stars	4 stars	3 stars	5 stars	4 stars	3 stars
B	2	1	0	1	0	1	0	1	0	1
C	11	5	5	1	1	7	2	1	2	7
D	14	7	4	3	3	6	3	2	3	6
E	5	3	2	0	0	3	1	1	1	3
Total	32	16	11	5	4	17	6	5	6	17

Fig. 2 Histogram for USNCAP front ratings

3.1 운전석 시험 결과 및 분석

모든 차량의 운전석 시험 결과와 측정된 데이터로부터 계산된 상해 확률은 Appendix B)에 상세하게 나타내었다. Fig. 3에 각 바디 영역별 상해확률과 시험차량 댓수를 표시하였으며, 다른 부위에 비해 상대적으로 목상해확률이 매우 크게 나타나고 있으며, 운전석의 전체 성능을 좌우하는 것을 알 수 있다. 특히 목상해 항목중에서도 목인장력(Neck tension force)이나 목압축력(Neck compression force)에 의한 상해보다도 목상해지수(Neck injury criterion, Nij)에 의한 영향이 지배적이다. 또한 전체 차량의 각 신체 부위별 평균에 있어서도 목상해지수 평균값이 0.069로서 매우 크게 나타났으며, 이 결과로부터 목상해지수가 운전석 전체 성능에 매우 중요한 인자임을 알 수 있다. 데이터의 산포를 나타내는 표준편차에서는 목 부위 보다 흉부 변형에서 0.021로서 가장 크게 나타났으며, 이것은 흉부 변형량⁴⁾을 제어하기가 쉽지 않다는 것을 보여주고 있다. 흉부 변형 센서 자체의 측정 방식도 산포에 기여하는 것으로 보인다. 그러나 대퇴부영역의 경우, 표준편차

Fig. 3 Histogram for No. of vehicles vs injury probabilities on driver

Fig. 4 Regression fittings for injury probabilities vs pjoint on driver

Fig. 5 Pjoint diagram for each body injury on driver

가 0.020을 보인 것은 2개의 시험결과가 평균값에서 크게 벗어난 결과 때문이다.

운전석 더미의 각 바디 영역별 상해가 Pjoint에 미치는 영향을 알아보기 위하여 선형회귀분석을 하였으며, 그 결과는 Fig. 4에 나타내었으며, 목상해지수에 의한 상관도가 0.604로 다른 세 영역보다 크게 나타났다.

운전석 Pjoint에 기여하는 각 바디 영역별 분포에서 목상해지수 평균이 59%를 차지하였으며, 흉부, 대퇴부 그리고 머리 순이었다. 상세 결과는 아래 Fig. 5에 나타내었다. 지금까지 결과를 종합하면, 운전석 정면충돌성능은 목상해지수, 흉부변형이 크게 영향을 미치며, 반면 산포는 흉부변형이 가장 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 새로운 USNCAP 정면충돌시험에서 운전석 성능향상을 위하여는 안전장치의 적절한 조합으로 더미 운동제어(Dummy kinematics)가 과거 USNCAP보다 크게 중요시 되었다고 생각된다.

3.2 조수석 시험 결과 및 분석

운전석과 동일한 방법으로 조수석 데이터를 분석하였으며, 모든 차량의 조수석 시험 결과와 측정된

	P(HIC15)	P(Nij)	P(CD)	P(Femur)	Pjoint	Star Rating
Mean	0.011	0.101	0.015	0.022	0.143	3.6
Stdev	0.011	0.023	0.012	0.014	0.037	0.9

Fig. 6 Histogram for No. of vehicles vs injury probabilities on passenger

데이터로부터 계산된 상해 확률은 Appendix C)에 상세하게 나타내었다. 조수석에 대한 각 바디 영역별 상해확률과 시험차량 댓수를 Fig. 6에 표시하였으며, 다른 바디영역 부위에 비해 상대적으로 조수석 역시 목상해지수 확률이 매우 크게 나타나고 있으며, 조수석의 전체 성능을 좌우하는 것을 뚜렷이 알 수 있다. 운전석과 동일하게 목상해 항목중에서도 특히 목상해 항목중에서도 목상해지수 확률 평균이 0.101로 매우 큰 값을 보이고 있다. 요인을 분석해 보면, 더미착석 위치와 조수석에어백의 특성 상 안착상태 및 안착 시간과 더미 거동의 복합적 원인으로 생각된다. 특히 더미 거동을 제어하기 위하여 안전장치, 벨트 및 에어백 설계에 심도 있는 검토가 요망된다. 또한 표준편차 역시 목상해지수에서

0.023으로 가장 크게 나타났으며, 이것은 조수석 목상해성능 개선이 조수석 정면 충돌 성능과 직결(Fig. 8 참조)됨을 알 수 있다. 그리고 특이할 점은 대퇴부상해가 운전석에 비해 상대적으로 조수석 전체성능에 큰 영향을 보이고 있다. 이것 역시 조수석 착석 위치 때문으로 보인다.

조수석 더미의 각 바디 영역별 상해가 Pjoint에 미치는 영향을 알아보기 위하여 선형회귀분석을 시도하였으며, 그 결과는 Fig. 7에 나타내었으며, 목상해 지수에 의한 상관도가 0.602로 다른 세 영역보다 크게 나타났으며, 운전석 더미와 유사한 결과를 보였다.

또한, 조수석 Pjoint에 기여하는 각 바디 영역별 분포에서 목상해 지수 평균이 68%를 차지하였으며, 대퇴부, 흉부 그리고 머리 순이었다. 특이한 점은 대퇴부 상해가 조수석의 경우 흉부상해보다 크게 나타났다. 이것은 조수석 에어백의 쿠션 때문으로 보인다. 상세 결과는 아래 Fig. 8에 나타내었다. 지금까지 결과를 종합하면, 조수석 정면충돌성능은 목상해지수, 대퇴부상해 정도가 크게 영향을 미치며, 산포 역시 목상해지수에서 가장 크게 나타났다. 특히 목상해지수의 Pjoint에 대한 영향은 운전석의 경우 59%보다 훨씬 높은 68% Pjoint 기여도를 보인다. 이와 같은 결과는 새로운 USNCAP에서 조수석 성능 향상을 위하여는 운전석보다 더욱 세심한 안전장치의 적절한 더미 운동제어(Dummy kinematics)가 필요할 것으로 보인다.

Fig. 7 Regression fittings for injury probabilities vs pjoint on passenger

후 기

본 논문은 KSAE 2011 Annual Conference 발표 내용(pp.2044-2050)을 수정하여 게재함.

References

- 1) Docket No. NHTSA-2006-26555, Consumer Information ; New Car Assessment Program.
- 2) Docket No. NHTSA-2011-0164, U.S. DOT/ NHTSA - NCAP Combined Crashworthiness Rating, 2011.
- 3) The Abbreviated Injury Scale 1990 Revision, Association for the Advancement of Automotive Medicine, USA, 1990.
- 4) J. Butcher, G. Shaw, C. Bass, R. Kent and J. Crandall, "Displacement Measurements in the Hybrid III chest," SAE 2001-01-0118, 2001.

Appendix A. Total vehicle lists for test results

Make	Model	Seq.	Driver (Stars)	Pass. (Stars)	Combed (Stars)	DKAB	PKAB	PT	LL
Ford	Fiesta S 4dr	B	5	4	4	0	X	0	0
Honda	CR-Z 3dr Hatchback	B	3	2	3	X	X	0	0
Nissan	Versa 4dr	C	3	2	3	X	X	0	0
Mazda	3 4dr Sport	C	5	4	5	X	X	0	0
Kia	Soul Plus 5dr	C	4	4	4	X	X	0	0
Nissan	Sentra 2.0 4dr	C	4	3	3	X	X	0	0
Honda	Civic 4dr	C	5	4	4	X	X	0	0
Chevrolet	Cruze LS 4dr	C	5	5	5	0	0	0	0
Dodge	Caliber	C	4	4	4	0	X	0	X
Volkswagen	Jetta S 4dr	C	4	4	4	X	X	0	0
Kia	Forte 4DR	C	5	3	4	X	X	0	0
Toyota	Corolla	C	4	4	4	X	X	0	0
Toyota	Corolla 4-Dr Sedan	C	5	4	4	X	X	0	0
Hyundai	Sonata GLS	D	3	3	3	X	X	0	0
Chevrolet	Malibu LS	D	5	3	4	X	X	0	0
Hyundai	Sonata GLS	D	5	4	4	X	X	0	0
Audi	A4 Quattro	D	3	4	4	X	X	0	0
Mercedes-Benz	C300 4dr	D	4	2	3	0	X	0	0
Honda	Accord LX 4dr	D	5	5	5	X	X	0	0
Ford	Fusion	D	4	3	3	X	X	0	0
Nissan	Altima 2.5 4dr	D	4	4	4	X	X	0	0
Mercedes-Benz	C300 4dr	D	4	2	3	0	X	0	0
Hyundai	Sonata GLS HEV	D	5	4	4	X	X	0	0
Ford	Fusion Hybrid	D	3	4	3	0	X	0	0
Kia	Optima LX 4dr	D	5	5	5	X	X	0	0
Toyota	Prius	D	5	4	4	0	X	0	0
Buick	LaCrosse CXL 4-Dr	D	5	5	5	X	X	0	0
Toyota	Camry LE	E	4	2	3	0	X	0	0
Ford	Taurus	E	5	4	4	X	X	0	0
Infiniti	M37X	E	5	3	4	X	X	0	0
BMW	5 Series 4 Dr RWD	E	4	4	4	0	0	0	0
Buick	Lucerne CX	E	5	4	5	X	X	0	0

Fig. 8 Ppoint diagram for each body injury on passenger

4. 결 론

지금까지 새로운 프로토콜로 NHTSA에 의해 수행된 USNCAP frontal crash test 결과들에 대한 통계적 분석을 하였다. 분석대상은 32대의 MY2011 승용차로 한정하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 32대 차량중 운전석 5star는 16대(50%), 조수석은 4대(12.5%) 그리고 통합평가는 6대(18.8%) 차량으로 상대적으로 조수석 성적이 낮았다. 이유는 운전석(H350)과 조수석(H305) 더미 차이에서 발생한 것으로 보인다.
- 2) 운전석의 전체 평균 성능은 목상해지수에 의한 영향이 59%, 흉부변형에 의한 영향이 14% 순이었으나, 산포를 나타내는 표준편차는 흉부변형상해에서 가장 크게 나타났다. 이 결과로부터 목상해 감소 노력뿐만 아니라 흉부 변형에 reliability 확보 노력이 필요할 것으로 생각된다. 종합적으로 볼 때 운전석 성능향상을 위하여는 안전장치(벨트, PT, LL, Airbag 등)과 운전석 더미운동을 과거 USNCAP보다 효과적인 제어 노력이 필요할 것으로 보인다.
- 3) 조수석의 경우에도 운전석의 경우와 매우 유사하지만, 상대적으로 운전석보다 오히려 목상해지수에 의한 성능영향이 훨씬 크고 산포 역시 목상해에서 가장 크게 발생하였다. 조수석 역시 운전석과 동일한 방법으로 해결이 가능할 것으로 보인다.
- 4) 무릎에어백의 경우 운전석 장착율은 9대(28.1%), 조수석은 2대(6.2%)를 보였지만, 향후 더미운동을 제어하기 위한 수단으로 보다 큰 활용이 기대된다.

Appendix B. Summary of test results in driver

Make	Model	Segment	NHTSA Star Rating										IIHS Star Rating									
			HIC15	Nij	Neck Force N	Upper Limb Deflection mm	3 ms Femur Force N	Left Femur Force N	Right Femur Force N	PHIC15	PHN	Ptension	PHCompan	Ptchest	Ptchest	PtFemur	PtFemur	PHIC3+	Star Rating			
Ford	Fiesta 5.4dr	B	147.7	0.25	1096.1	198.2	20.7	36.8	1847.1	1551.8	0.000	0.061	0.000	0.000	0.061	0.015	0.015	0.008	0.007	0.008	0.025	5
Honda	CR-Z 3dr Hatchback	B	250.6	0.40	1423.3	530.6	34.0	41.3	1097.9	1446.8	0.005	0.060	0.000	0.000	0.060	0.017	0.017	0.005	0.007	0.007	0.035	3
Mazda	3.4dr Sport	C	242.2	0.30	2068.8	696.1	31.5	51.5	3670.3	3134.6	0.004	0.054	0.000	0.000	0.054	0.055	0.055	0.020	0.015	0.020	0.032	4
Kia	Soul Plus 5dr	C	337.2	0.21	1626.5	76.5	31.5	47.9	1626.5	2712.6	0.014	0.068	0.001	0.000	0.068	0.055	0.055	0.006	0.012	0.012	0.042	4
Nissan	Sentra 2.0 4dr	C	260.3	0.42	1389.7	427.6	25.6	41.8	2373.6	2476.7	0.005	0.063	0.000	0.000	0.063	0.028	0.028	0.010	0.011	0.011	0.023	4
Honda	Civic 4dr	C	186.6	0.28	853.8	156.9	24.2	46.6	2874.6	362.3	0.001	0.058	0.000	0.000	0.058	0.023	0.023	0.013	0.004	0.013	0.094	4
Chevrolet	Cruze LS 4dr	C	191.1	0.26	813.7	72.4	16.9	36.1	1352.0	2264.5	0.001	0.062	0.000	0.000	0.062	0.008	0.008	0.006	0.010	0.010	0.080	5
Dodge	Caliber	C	275.2	0.34	1425.3	109.7	28.5	45.4	2014.9	2176.0	0.007	0.071	0.001	0.000	0.071	0.039	0.039	0.009	0.009	0.009	0.122	4
Volkswagen	Poleo 5.4dr	C	250.1	0.33	1521.6	38.6	20.6	46.0	3265.5	2942.8	0.003	0.061	0.000	0.000	0.061	0.016	0.016	0.013	0.016	0.016	0.071	4
Kia	Petite 4dr	C	249.0	0.27	1223.4	187.8	19.7	47.9	1343.9	2533.9	0.004	0.065	0.000	0.000	0.065	0.013	0.013	0.006	0.015	0.015	0.090	5
Toyota	Corolla 4dr Sedan	C	193.0	0.30	728.0	87.0	21.7	45.1	6501.0	1439.0	0.002	0.067	0.000	0.000	0.067	0.013	0.013	0.004	0.005	0.005	0.087	5
Hundai	Sonata GLS	D	341.8	0.47	2268.9	705.7	21.7	59.5	2751.2	6573.4	0.014	0.091	0.004	0.000	0.091	0.017	0.017	0.013	0.065	0.065	0.194	3
Hundai	Malibu LS	D	222.5	0.20	841.8	42.4	22.8	42.6	254.8	2363.4	0.003	0.056	0.000	0.000	0.056	0.020	0.020	0.003	0.010	0.010	0.087	5
Hundai	Sonata GLS - Late Release	D	306.4	0.25	1355.9	102.2	18.3	46.7	376.1	2117.3	0.010	0.061	0.000	0.000	0.061	0.010	0.010	0.004	0.009	0.009	0.065	5
Audi	A4 Quattro	D	121.8	0.34	932.7	200.9	37.2	38.0	559.4	572.6	0.000	0.072	0.000	0.000	0.072	0.096	0.096	0.004	0.004	0.004	0.065	3
Mercedes-Benz	Accord LX 4dr	D	440.8	0.33	1456.8	120.6	26.4	66.5	2501.7	3646.4	0.033	0.031	0.001	0.000	0.031	0.031	0.031	0.011	0.020	0.020	0.146	4
Honda	Accord LX 4dr	D	98.8	0.29	841.8	146.0	25.3	34.0	1930.0	1793.1	0.000	0.066	0.000	0.000	0.066	0.027	0.027	0.006	0.006	0.006	0.098	5
Ford	Fusion	D	196.4	0.39	1736.4	27.7	29.0	40.9	1341.5	3929.2	0.002	0.079	0.001	0.000	0.079	0.042	0.042	0.006	0.023	0.023	0.106	4
Nissan	Altima 2.5 4dr	D	76.7	0.34	795.6	451.4	27.3	39.3	364.6	189.3	0.000	0.072	0.000	0.000	0.072	0.034	0.034	0.004	0.003	0.003	0.139	4
Mercedes-Benz	C300 4dr	D	335.4	0.35	1196.7	298.2	25.2	45.9	3652.9	3562.4	0.013	0.073	0.000	0.000	0.073	0.027	0.027	0.020	0.019	0.020	0.127	4
Hundai	Sonata GLS HEV	D	172.8	0.28	1221.9	286.2	16.0	38.0	304.9	3375.5	0.001	0.065	0.000	0.000	0.065	0.007	0.007	0.004	0.017	0.017	0.099	5
Ford	Fusion Hybrid	D	170.7	0.29	1747.6	28.6	22.9	40.9	2607.3	6801.4	0.001	0.078	0.001	0.000	0.078	0.020	0.020	0.002	0.002	0.002	0.085	3
Kia	Optima LX 4dr	D	152.2	0.36	961.9	145.2	15.5	34.6	287.5	3604.2	0.001	0.062	0.000	0.000	0.062	0.007	0.007	0.003	0.019	0.019	0.085	5
Dodge	Charger SXT	D	202.2	0.52	282.9	45.0	16.9	45.9	2546.2	2554.6	0.002	0.060	0.000	0.000	0.060	0.005	0.005	0.004	0.014	0.014	0.080	5
Toyota	Camry CXI 4 Dr	D	150.4	0.27	1734.7	145.0	17.0	45.9	1856.7	1856.7	0.002	0.060	0.000	0.000	0.060	0.007	0.007	0.003	0.014	0.014	0.080	5
Toyota	Camry LE	E	140.5	0.40	1714.1	718.4	22.6	40.4	1933.3	2515.5	0.005	0.079	0.001	0.000	0.079	0.022	0.022	0.008	0.011	0.011	0.132	4
Toyota	Camry LE	E	138.1	0.25	1039.6	134.3	25.0	46.7	1839.2	2532.9	0.000	0.061	0.000	0.000	0.061	0.026	0.026	0.006	0.008	0.008	0.096	5
Infiniti	M37X	E	250.2	0.19	1009.9	82.1	20.9	43.0	3543.5	3460.3	0.005	0.065	0.000	0.000	0.065	0.015	0.015	0.019	0.019	0.019	0.091	5
BMW	5 Series 4 Dr RWD	E	130.2	0.29	1040.8	40.2	32.3	42.4	1899.6	2420.5	0.000	0.066	0.000	0.000	0.066	0.059	0.059	0.008	0.011	0.011	0.131	4
BMW	Lucerne CX	E	92.7	0.19	769.0	51.7	24.6	35.5	2145.6	3127.0	0.000	0.065	0.000	0.000	0.065	0.025	0.025	0.009	0.015	0.015	0.092	5
Mean			218.8	0.31	1227.7	242.2	23.7	43.3	1726.1	2500.4	0.005	0.069	0.001	0.000	0.069	0.028	0.028	0.009	0.016	0.016	0.113	4.3
Standard deviation			88.54	0.072	398.83	199.21	5.60	6.66	1059.65	1336.49	0.0075	0.0092	0.0008	0.0000	0.0092	0.0208	0.0208	0.0049	0.0201	0.0199	0.0133	0.75

Appendix C. Summary of test results in passenger

Make	Model	Segment	Front Passenger HIF SF										Front Passenger A/S 3+ injury to different body regions										Passenger P/IC(S3+)	Star Rating
			HIC15	Nij	Neck Tension	Neck Compres	Chest Deflectio	3 ms Femur Force N	Left Femur Force N	Right Femur Force N	PHIC15	PHN	PH(tension)	PH(Compres)	PH(chest)	PH(chest)	PH(femur)	PH(femur)	PH(femur)	PH(femur)				
Ford	Fiesta 5 4dr	B	291.5	0.42	693.3	524.5	641.7	23.6	48.9	3448.2	1815.6	0.008	0.100	0.000	0.000	0.100	0.004	0.004	0.019	0.012	0.019	4		
Honda	CR-Z 3dr Hatchback	B	411.2	0.51	1770.3	216	48.9	348.2	2016.6	2016.6	0.008	0.117	0.000	0.000	0.117	0.041	0.041	0.047	0.014	0.047	0.047	2		
Nissan	Ventra 4dr	C	470.6	0.67	1358.4	487.0	21.5	53.9	2889.0	1824.6	0.040	0.128	0.003	0.000	0.128	0.030	0.030	0.027	0.012	0.027	0.027	2		
Mazda	3.4dr Sport	C	342.7	0.47	822.1	173.6	17.6	46.2	2051.3	1945.7	0.014	0.091	0.000	0.000	0.091	0.017	0.017	0.013	0.014	0.014	0.014	4		
Kia	Soul Plus 5dr	C	334.3	0.51	1160.4	489.1	17.6	56.2	2861.0	1064.0	0.003	0.097	0.001	0.000	0.097	0.017	0.017	0.023	0.007	0.023	0.044	4		
Nissan	Sentra 2.0 4dr	C	311.9	0.78	981.8	16.0	58.2	2841.4	2202.9	0.010	0.149	0.001	0.000	0.149	0.013	0.013	0.022	0.016	0.022	0.022	4			
Honda	Malibu LS	D	172.5	0.67	1005.4	676.5	21.1	43.9	1411.6	1320.2	0.001	0.099	0.001	0.000	0.099	0.014	0.014	0.044	0.032	0.032	0.141	4		
Mercedes-Benz	C300 4dr	D	350.9	0.68	542.7	1221.6	13.3	39.6	1034.6	1819.2	0.001	0.099	0.000	0.000	0.099	0.003	0.003	0.007	0.012	0.012	0.088	5		
Hundai	Sonata GLS	D	172.5	0.61	1114.3	412.8	14.5	42.1	1916.1	676.5	0.020	0.101	0.000	0.000	0.101	0.010	0.010	0.013	0.005	0.013	0.154	3		
Chrysler	Malibu LS	D	219.0	0.67	1005.4	676.5	21.1	43.9	1411.6	1320.2	0.001	0.129	0.001	0.000	0.129	0.029	0.029	0.009	0.008	0.009	0.162	3		
Hundai	Sonata GLS - Late Release	D	219.0	0.67	915.2	158.9	23.6	47.0	944.3	77.1	0.003	0.020	0.000	0.000	0.020	0.008	0.008	0.006	0.003	0.006	0.006	4		
Audi	A4 Quattro	D	141.8	0.42	910.9	381.0	25.0	43.6	2166.8	927.4	0.000	0.083	0.001	0.000	0.083	0.028	0.028	0.016	0.006	0.016	0.133	4		
Mercedes-Benz	C300 4dr	D	482.0	0.62	833.8	1101.9	17.7	48.3	3422.7	3705.1	0.043	0.119	0.000	0.000	0.119	0.017	0.017	0.040	0.049	0.049	0.068	2		
Honda	Accord LX 4dr	D	146.1	0.35	864.2	214.0	15.9	38.4	1047.8	2145.8	0.000	0.073	0.000	0.000	0.073	0.012	0.012	0.007	0.015	0.015	0.088	5		
Ford	Fusion	D	319.7	0.37	1034.8	355.3	24.1	40.3	3687.9	2909.8	0.011	0.075	0.001	0.000	0.075	0.044	0.044	0.027	0.047	0.047	0.168	3		
Nissan	Altima 2.5 4dr	D	271.5	0.51	571.5	571.5	20.9	48.4	1141.1	2276.6	0.006	0.097	0.000	0.000	0.097	0.028	0.028	0.007	0.017	0.017	0.143	4		
Mercedes-Benz	C300 4dr	D	350.9	0.68	542.7	1221.6	13.3	39.1	3565.8	3564.7	0.006	0.133	0.000	0.000	0.133	0.006	0.006	0.059	0.059	0.059	0.201	2		
Hundai	Sonata GLS HEV	D	182.8	0.29	1065.3	105.3	14.0	36.8	559.3	244.4	0.001	0.106	0.001	0.000	0.106	0.009	0.009	0.005	0.004	0.005	0.119	4		
Ford	Fusion Hybrid	D	256.1	0.29	789.5	318.4	18.4	41.1	3787.0	2520.3	0.005	0.096	0.000	0.000	0.096	0.007	0.007	0.051	0.020	0.051	0.124	4		
Toyota	Optima LX 4dr	D	181.3	0.41	714.8	129.3	12.7	38.2	1150.7	326.8	0.001	0.082	0.000	0.000	0.082	0.007	0.007	0.007	0.004	0.007	0.086	5		
Toyota	Phius	D	336.1	0.35	1002.18	291.5	11.3	42.7	2566.6	1563.8	0.014	0.074	0.001	0.000	0.074	0.005	0.005	0.021	0.010	0.021	0.110	4		
Buick	Lacrosse CX 4 Dr	D	165.0	0.37	435.9	367.6	10.1	39.5	882.2	2435.7	0.001	0.076	0.000	0.000	0.076	0.004	0.004	0.006	0.019	0.019	0.087	5		
Toyota	Camry LE	E	378.0	0.65	952.7	381.0	25.0	44.8	2260.7	2274.4	0.020	0.125	0.001	0.000	0.125	0.050	0.050	0.017	0.017	0.017	0.197	2		
Ford	Taurus	E	234.7	0.61	491.7	335.1	11.2	46.7	1230.9	1604.6	0.004	0.117	0.000	0.000	0.117	0.005	0.005	0.008	0.010	0.010	0.133	4		
Infiniti	M37X	E	216.3	0.59	939.9	317.4	16.8	46.8	2876.0	1739.5	0.003	0.132	0.001	0.000	0.132	0.015	0.015	0.021	0.011	0.021	0.165	3		
BMW	5 Series 4 Dr RWD	E	311.8	0.31	715.2	424.8	16.2	34.5	2100.3	1841.1	0.010	0.068	0.000	0.000	0.068	0.013	0.013	0.015	0.012	0.015	0.117	4		
Buick	Lucerne CX	E	264.9	0.35	861.0	411.5	15.9	44.7	2116.9	1778.6	0.011	0.068	0.000	0.000	0.068	0.013	0.013	0.015	0.012	0.015	0.103	4		
Standard deviation			92.40	0.13	198.67	292.71	4.36	5.60	934.57	927.48	0.011	0.023	0.001	0.000	0.023	0.012	0.012	0.024	0.010	0.024	0.037	0.9		