새로운 미국 측면 신차안전도평가 결과에 대한 통계적 분석

범 현 균*

한국지엠 기술연구소

Statistical Review for New USNCAP Side Crash Test Results

Hyenkyun Beom*

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

(Received 7 May 2012 / Revised 31 August 2012 / Accepted 4 September 2012)

Abstract : New US NCAP has been carried out by NHTSA including front and side crash from MY2011. In this paper, test results for USNCAP Side crash were reviewed by statistical analysis. This review focused on side crash test results to investigate the effect of changes from new USNCAP side crash test protocol among 30 passenger cars. These results were summarized as followings. Total number of 5 star vehicles on the front seat dummy (16 vehicles, 53.3%) was slightly smaller than the rear seat's (17 vehicles, 56.7%) in MDB test. For the ES-2re dummy, chest injury, ie maximum rib deflection contributed to 66% in the mean value of P_{joint} . Pelvis injury was highly dependent upon performance up to 87% in the SID-II's dummy cited on the rear seat in average P_{joint} . For Pole test, pelvis injury made contribution to the average performance to 83%. For standard deviation, it showed the largest value in the same body region as the mean value for each dummy. Overall front seat performance showed 14 vehicles, 44.6% with 5 star vehicles less than each MDB or Pole test result. This result showed that performances in MDB test were different pattern to Pole test on driver position. Number of 5star vehicles for overall side NCAP performance are 18 passenger cars (60%). Curtain airbag and driver thorax airbag were equipped in all test vehicles. One vehicle is equipped with thorax airbag in the rear seat. Results from two side tests considered as reliability problem, ie the cause for large standard deviation in side crash test. Consequently, the countermeasure for new USNCAP side crash test is essential to design the effective side structures for side collision and to control well dummy kinematics with curtain and thorax airbag in order to reduce chest and pelvis injuries.

Key words : USNCAP(미국신차안전도평가프로그램), NHTSA(미국도로교통안전국), MDB test(변형벽대차충돌시험), Pole test(지주충돌시험), ES-2re(유럽남성측면충돌더미), SID-II's(여성측면충돌더미), HIC(머리상해지수), Rib deflection(흉부변형), Abdomen force(복부하중), Curtain air bag(커튼에어백), Thorax air bag(흉부에어백)

Nomenclature

P	: probability
HIC	: head injury criterion
B, C, D, E	: each segment of passenger car
NCAP	: new car assessment program
MDB	: mobile deformable barrier

1. 서론

북미 신차 안전도 평가 방법(USNCAP)이 1979년 최초 시행된 이래 2011년형 모델부터 대폭적인 개정이 이루어져 시행되고 있다.

새롭게 시행되는 측면 북미 신차안전도평가¹⁾에 대한 변경 내용을 요약하면, 먼저 시험 방법이 기존의 MDB 충돌 시험에 지주 충돌시험을 추가하여 두 종류의 충돌 시험 성능을 평가한다. 그리고 두 종류

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

의 시험과 함께 또 다른 큰 변화는 착석 더미의 변경에 있다. 정면충돌과 유사한 개념으로 한정된 시험으로 운전자의 성별 및 신체 크기 등을 고려하기 위하여 기존의 북미 측면 신차안전도평가(USNCAP Side crash test) 시험에서 사용하던 US-SID 더미를 남성 운전자를 대표하는 ES-2re 더미와, 여성운전자 및 승객을 대표하는 SID-IIs 더미로 변경하여, 뒷좌석 착석과 지주충돌시험에서 앞 좌석 더미로 사용하는 것을 들 수 있다. 특히 앞 좌석에 두 가지 시험에서 다른 더미를 사용함으로써, 서로 다른 충돌시험 유형의 특성을 종합하여 평가가 가능해졌다. 최종적으로 전체 앞 좌석 성능(Overall front seat performance)과 뒷좌석 성능을 종합적으로 재평가하여 전체 측면충돌성능을 평가함으로써, 착석 위치 뿐만 아니라 더미 크기에 따른 영향도 평가할 수 있을 것으로 보인다. 이처럼 다소 복잡하게 평가 방식이 변경되었지만, 제한된 충돌시험에서 측면충돌 사고 유형, 승객 유형 및 착석 위치 등 여러 가지 영향을 고려하기 위한 방법이라고 생각 된다.

본 연구에서는 2011년부터 새롭게 개정되어 시행되고 있는 미국 신차안전도평가(USNCAP)시험 중 측면충돌성능에 대하여 고찰하고자 한다. 새로운 평가방법이 처음 적용된 2011년 모델에 대한 미국 도로교통안전국(NHTSA) 시험 결과²⁾를 바탕으로 통계적 분석방법으로 개정된 측면북미신차안전도평가에 대한 영향을 분석하였다. 특히 시험 방법의 추가, 착석 더미 변경과 각각의 더미 평가항목이 새로운 측면 북미 신차안전도평가에 미치는 영향을 분석하였다. 통계분석에 이용된 데이터 샘플은, 한국의 교통상황을 고려하여 승용차 30대로 한정하였

으며, 차량 유형 중 SUV와 트럭은 제외하였다. 끝으로 측면충돌에서 안전시스템에 의한 안전성능 영향도 간단히 언급하였다. 참고로 새로운 정면충돌 북미 신차안전도평가 방법에 대한 통계적 성능 분석은 범현균³⁾에 의해 선행 연구되었다.

2. New USNCAP Side Crash Test 개요

상세한 시험 결과를 분석하기 위하여, 먼저 개정된 측면 북미신차안전도 평가 방법에 대하여 고찰하고자 한다. 시험 방법은 Fig. 1과 같이 대차충돌 시험(Mobile deformable barrier test; 이하 MDB test)과 지주충돌 시험(Pole test) 두 종류로 이루어져 있다. 먼저 대차충돌 시험은, 앞 좌석에 성인 남성을 대표하는 ES-2re 더미와 뒷좌석에 여성 더미인 SID-IIs를 착석시키고, 알루미늄 벌집구조로 된 변형 벽을 장착한 이동 대차를 시속 62kph로 27°경사지게 정지한 시험차량에 충돌시킨다. 두 번째 시험 유형은 지주 충돌 시험(Pole test)으로써, 앞 좌석에만 여성 더미인 SID-IIs를 착석시키고 차량을 32kph 속력으로 75°경사지게 견인하여 고정된 지주에 충돌시킨다.

이때 각각의 더미에 장착된 센서로부터 측정된 데이터를 이용하여 Table 1과 Table 2에 나타낸 식을 이용하여 ES-2re 더미는 4 바디영역(머리, 흉부, 복부 그리고 골반)와 SID-IIs더미는 2 바디영역(머리와 골반)의 점수를 각각 산출하게 된다.

USNCAP 측면 충돌의 상해 기준은 SID-IIs의 골반 상해 확률을 제외하고, 모든 바디영역에서 중상을 입을 확률, 즉 AIS 3+를 기준으로 되어 있다. 참고로 AIS⁴⁾(Abbreviated Injury Scale)는 1등급(Minor)에

Side	Driver	Rear Passenger
Pole 32 kph, 75 deg. Oblique Pole	SID-IIs 5%ile female	N/A
MDB 62 kph, 27 deg. Oblique MDB Impact	ES-2re 50%ile male	SID-IIs 5%ile female

Fig. 1 Test configuration for USNCAP side crash tests

Table 1 Injury risk curve for USNCAP side MDB test in the ES-2re dummy

Injury criteria	Risk curve
Head (HIC36)	$P_{head} = \Phi\left(\frac{\ln(HIC36) - 7.45231}{0.73998}\right)$
Chest (Rib deflection, mm)	$P_{chest} = \frac{1}{1 + \exp(5.3895 - 0.919 * D)}$
Abdomen (Total abdominal force, N)	$P_{abdomen} = \frac{1}{1 + \exp(6.04044 - 0.002133 * F)}$
Pelvis (force, N)	$P_{pelvis} = \frac{1}{1 + \exp(7.5969 - 0.0011 * F)}$

$$P_{joint} = 1 - (1 - P_{head})(1 - P_{chest})(1 - P_{abdomen})(1 - P_{pelvis}) \quad \text{in ES-2re} \quad (1)$$

서 6등급(사망)까지 6단계로 이루어져 있다. Table 3에 각 바디 영역별 AIS 상해 기준과 미국 측면충돌 법규항목인 FMVSS214에서 규제하고 있는 상해 상한 값을 표기하였다. 새로운 신차안전도평가에서 측면충돌에 대한 평가는 3단계로 이루어져 있으며, 각 단계마다 별의 개수(Star rating)로 충돌 성능을 평가하게 되어 있다. 1단계에서는 MDB 시험의 앞 좌석 ES-2re 더미와 뒷좌석 SID-IIs 더미에 대한 성능을 각각 Star rating으로 나타낸다. 이때 ES-2re 더미는 각 바디 영역(머리, 흉부, 복부 그리고 골반)별 최소 점수를 계산(Table 1 참조)하여, MDB 시험에서 식 (1)을 이용하여 앞 좌석 성능을 P_{joint} 값을 계산하여, 이 값에 따라 성능을 1에서 5개의 별로 평가한다. 예를 들면, 식 (1)에서 구한 P_{joint} 값이 0.1 이하이면 5star, 0.15 이하이면 4star, 0.2 이하이면 3star 그리고 0.4 이하이면 2 star이다.

또한, MDB 시험 뒷좌석과 지주충돌 시험 앞 좌석에 착석시키는 SID-IIs 더미의 경우, 2 바디영역(머리와 골반)별 최소 점수(Table 2 참조)를 계산하고, 이를 식 (2)에 대입하여 각각의 시험 유형별 착석더미의 성능을 앞 좌석과 동일하게 별의 개수로써 표시한다. 즉, 1단계에서는 MDB 시험의 앞 좌석 더미(ES-2re) 및 뒷좌석 더미(SID-2s) 그리고 지주충돌 시험의 앞 좌석 더미(SID-2s) 등 각각의 착석 더미에 대한 성능이 별의 개수로 표시된다.

계속해서 2단계 성능평가에서는 1단계에서 수행한 MDB 시험 앞 좌석 성능과 지주충돌 시험 앞 좌석 성능을 통합하여 앞 좌석 전체 성능을 평가한다.

이를 위하여 두 시험 결과의 가중평균 식 (3)으로 계산하며, 앞 좌석 전체 측면 충돌성능(Overall front seat performance)을 별의 개수로 재평가 한다. 즉 이와 같은 방법으로 시험 유형, 운전자 성별 그리고 신체 크기에 대한 측면 충돌 영향을 살펴볼 수 있다. 그러나 뒷좌석 성능에 대하여는 MDB 시험 결과만 있으므로 재평가하지 않는다.

Table 2 Injury risk curve for USNCAP side Pole test in SID-IIs dummy

Injury criteria	Risk curve
Head (HIC36)	$P_{head} = \Phi\left(\frac{\ln(HIC36) - 7.45231}{0.73998}\right)$
Pelvis (acetabular+iliac force, N)	$P_{pelvis} = \frac{1}{1 + \exp(7.5969 - 0.0011 * F)}$

$$P_{joint} = 1 - (1 - P_{head})(1 - P_{pelvis}) \quad \text{in SID-IIs} \quad (2)$$

최종적으로 3단계에서는 전체 측면충돌의 대표 성능을 계산하는 과정이다. 즉, 2단계에서 평가한 앞 좌석 전체 성능과 1단계 뒷좌석 성능을 통합하는 과정으로, 두 성능을 산술 평균하여 성능을 계산한 후 별의 개수로 전체 측면충돌 성능을 표기한다. 앞의 전 단계를 요약하여 Fig. 2에 표시하였다.

Fig. 2 Performance rating procedure for USNCAP

$$P_{\text{joint}} = 0.8 * (P_{\text{joint in MDB}}) + 0.2 * (P_{\text{joint in Pole}}) \quad (3)$$

on Front Seat

Table 3 Injury level for body regions in each dummies

USNCAP Side Crash Test					FMVSS214
Dummy	Region	Injury Lists	Unit	Injury level	Compliance
ES-2re	Head	HIC36		AIS 3+	1000
	Chest	Rib Deflection	mm	AIS 3+	44
	Abdomen	Total Abdom	kN	AIS 3+	2.5
	Pelvis	Pelvis Force	kN	AIS 3+	6.0
SID-IIs	Head	HIC36		AIS 3+	1000
	Lower	Acceleration	g	None	82
	Pelvis	Aceta+iliac	kN	AIS 2+	5.525

3. NHTSA 측면 충돌 시험 결과 및 분석

본 연구의 통계분석에 사용된 전체 시험 차량의 목록과 MDB 시험과 지주충돌 시험 결과 및 안전 장치 장착 유무에 대하여 Appendix A)에 상세하게 나타내었으며, 모든 샘플 차량은 승용차 등급 기준인 B,C,D 그리고 E로 분류하였으며, 각 등급 별 차량 분포는 각각 1, 11,12 그리고 6대이며, 전체 시험차량 샘플은 30대이다. 이중 5star 차량은 MDB 시험의 앞 좌석 16대(53.3%), 뒷좌석 17대(56.7%) 그리고 지주 충돌 시험의 앞 좌석은 17대(56.8%) 분포를 보였다. 그리고 앞 좌석 전체성능 5star 결과는 14대(46.7%)이며, 측면충돌 전체 성능은 18대(60%)로 나타났다. 각 등급 별 상세한 Star rating 결과는 Table 4에 표시하였다.

또한 Table 4의 결과를 Fig. 3에 막대그래프로 나

Table 4 Number of vehicles for USNCAP side rating in each segment

Segment	Pole Driver (SID-IIs)			MDB Driver (Es-2re)			Combined Driver			MDB Passenger (SID-IIs)			Overall Side		
	5 star	4 star	Other	5 star	4 star	Other	5 star	4 star	Other	5 star	4 star	Other	5 star	4 star	Other
B	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
C	7	0	4	6	2	3	5	3	3	6	1	4	5	1	5
D	7	3	2	7	4	1	6	5	1	7	3	2	9	2	1
E	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Sum	17	5	8	16	8	6	14	10	6	17	5	8	18	4	8

타내었다. Fig. 3과 같이 각각의 좌석 위치 별 성능 중에서 고성능(4 star 이상)의 차량 대수에서는 유사한 결과를 보였으나, 저성능(3star 이하)구간에서는 SID-IIs더미가 8대, ES-2re 더미 6대로 보다 빈도수가 많은 결과를 보인다. 이것은 다음과 같은 두 가지 원인으로 생각된다. 먼저 앞 좌석에 SID-IIs를 좌석시키는 지주(Pole) 충돌시험이 상대적으로 MDB 시험보다 성능이 떨어짐을 의미하며, 이것은 지주충돌 시험 조건의 신뢰성⁵⁾(Reliability)에서 영향을 받은 것으로 보인다.

또 다른 측면으로는 MDB 시험 뒷좌석 대한 결과는 Appendix A)에서 보는 바와 같이 1대만 흉부에어백을 장착한 영향으로 보인다. 두 앞 좌석 더미들의 통합 성능은 식 3에 의해 두 시험의 가중평균으로 계산되기 때문에, 일반적으로 더 좋게 계산되는 것이 보통이지만, 본 시험 결과에서는 오히려 통합 앞 좌석 성능이 각각의 앞 좌석 시험 결과보다 낮게 나

Fig. 3 Histogram for USNCAP side ratings

Table 5 Pole test performance among 16 vehicles with 5 star in the MDB front seat dummy

	Pole test				
Star rating	5 star	4 star	3 star	2 star	1 star
No. Vehicle	8	3	2	2	1

타났다. 이것은 MDB 시험과 지주충돌 시험 성능의 상호 연관성이 낮기 때문이다. 일례로 MDB 시험 운전석 5star 16대 차량 각각의 지주충돌 성능을 살펴보면 Table 5와 같이 5star에서 1star까지 분포를 보인다.

Appendix A)에서 측면충돌 성능과 관련된 주요 안전장치로는 운전자와 탑승객의 머리를 보호하기 위한 커튼에어백(Curtain airbag)과 흉부를 보호하기 위한 흉부에어백(Thorax airbag)을 들 수 있다. 두 에어백 모두 장착 의무화 되어 있지는 않지만 뒷좌석 승객의 흉부에어백을 제외하고는 모든 차량이 장착하고 있었다. 계속해서 다음 각 절에서는 각각의 좌석 더미에 대한 측면 충돌 성능을 자세하게 논의하고자 한다.

3.1 MDB 시험 앞 좌석 더미(ES-2re) 결과 및 분석

모든 차량의 MDB 시험 앞 좌석 더미 ES-2re 결과는 부록 B)에 상세하게 나타내었다. Fig. 4에 각 바디 영역별 상해 확률 구간별 시험차량 대수를 표시하였으며, 다른 바디 영역에 비해 상대적으로 흉부 상해 값이 크게 나타나고 있으며, 특히 상해 확률이 높은 구간에서는 P_{joint} 와 거의 동일한 패턴을 보이고 있다.

Fig. 4 Number of vehicles for injury probabilities on the front seat dummy in MDB test

전체 차량의 각 신체 부위별 평균 0.133 중에서 흉부 변형(Rib deflection)에 의한 상해확률은 0.092로서 66% (Fig. 6 참조)를 차지한다. 이 결과로부터 흉부 변형이 앞 좌석 성능에 매우 중요한 인자임을 알 수 있다. 또한 산포를 나타내는 표준편차에서도 동일한 흉부 변형에서 0.080로서 가장 크게 나타났으며, 이것은 상중하 세 개의 Rib에서 측정하는 흉부 변형(Rib deflection)을 제어하기가 쉽지 않다는 것을 보여주고 있다. 그리고 복부 상해에서도 머리나 골반 상해보다 상대적으로 큰 평균값과 산포를 보였다.

앞 좌석 더미의 각 바디 영역별 상해가 P_{joint} 에 미치는 영향을 알아보기 위하여 선형회귀 분석을 하였으며, 그 결과는 Fig. 5에 나타내었으며, 최대 흉부 변형에 의한 상관도가 0.922, 복부상중에 의한 상관도는 0.686 으로 다른 두 영역보다 크게 나타났다.

MDB시험 앞 좌석 더미 성능 P_{joint} 에 기여하는 각 바디 영역별 분포에서 흉부 상해 평균이 66%, 복부상해 평균이 28%를 차지하였으며, 골반 그리고 머리 순이었다. 상세 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 지금까지 결과를 종합하면, 앞 좌석 MDB 충돌성능은

Fig. 5 Regression fittings for injury probabilities vs P_{joint} on the front seat dummy in MDB test

Fig. 6 P_{joint} Diagram from each body injury on the front seat dummy in MDB test in the average value

최대 흉부 변형, 복부 하중이 크게 영향을 미치며, 최대 표준편차 역시 흉부 변형에서 발생하며 0.080으로 평균값 0.092와 큰 차이가 없다. 또한 흉부를 제외한 다른 바디 영역의 산포 역시 복부, 골반 그리고 머리 순이었다.

3.2 지주충돌 시험 앞 좌석 더미(SID-IIs) 결과 및 분석

MDB 시험 앞 좌석과 유사한 방법으로 지주충돌 시험 앞 좌석 더미 데이터를 분석하였으며, 모든 차량의 지주충돌 시험 결과를 부록 C)에 상세하게 나타내었다. 동일한 SID-IIs 더미를 작성시키는 시험은 지주충돌 시험 앞 좌석과 MDB시험의 뒷좌석이다. SID-IIs더미의 ES-2re더미와 차이점은 크기가 작고, 성능 평가는 두 바디영역(머리와 골반)에서만 이루어진다. 시험결과에 대한 각 바디 영역별 상세 확률과 시험차량 대수를 Fig. 7에 표시하였다.

이 결과에서 지주충돌 시험 특징을 요약하면, 골반상해의 평균값이 0.10으로 전체 평균의 83%를 차지하고 있으며, 특히 표준편차 역시 0.087로 ES-2re보다 크게 나타난다. 또한 머리 상해와 다르게 15% 초과 골반 상해 차량이 7대가 존재하는데 이것은 지주충돌 시험의 신뢰성 문제로 생각된다.

지주충돌 시험의 각 바디 영역별 상해가 P_{joint} 에 미치는 영향을 알아보기 위하여 선형회귀분석을 시도하였으며, 그 결과는 Fig. 8에 나타내었으며, 골반 상해지수에 의한 상관도가 0.986으로 머리 영역보

Probability	P(Head)	P(Pelvis)	Pjoint	Star
Mean	0.02	0.10	0.11	4.1
Stdev	0.017	0.087	0.093	1.28

Fig. 7 Histogram for No. of vehicles vs injury probabilities on the front seat in Pole test

Fig. 8 Regression fitting for injury probabilities vs P_{joint} on the front seat in the Pole test

Fig. 9 P_{joint} diagram for each body injury on the front seat in Pole test

다 훨씬 크게 나타났다.

또한, 앞 좌석 P_{joint} 에 기여하는 각 바디 영역별 분포에서 골반 상해 평균이 83%를 차지하였으며, 머리부위는 17%를 차지하였으며, Fig. 9에 나타내었다. 지금까지 지주충돌 결과를 종합하면, 앞 좌석 지주충돌 성능은 골반 상해지수가 크게 영향을 미치며, 산포 역시 골반 상해지수에서 가장 크게 나타났다. 특히 골반 상해지수의 경우에 큰 상해치를 보이는 시험이 다수 존재하는 것은, 지주충돌의 시험방법 상의 여러 가지 요인으로 보인다. 예를 들면, 지주의 충돌점, 더미의 착석위치 및 차량의 제조 상태 등의 요인으로 발생하는 신뢰성 문제로 보인다. 즉 지주충돌에서는 도아 구조물의 직접적인 더미 접촉에 따라 산포가 크게 발생하는데, 이를 제어하기 위하여 차량 구조 관련 부품 뿐만 아니라 안전장치의 적절한 더미운동(Dummy kinematics) 제어가 필요할 것으로 보인다.

3.3 MDB 시험 뒷좌석 더미(SID-IIs) 시험 결과 및 분석

지주충돌 시험과 동일한 SID-IIs 더미를 사용하는

MDB 시험 뒷좌석 더미 결과를 앞 절과 동일한 방법으로 분석하였으며, 모든 차량의 시험 결과와 측정된 데이터로부터 계산된 상해 확률은 부록 D)에 상세하게 나타내었다. 또한, 각 바디 영역별 상해확률과 시험차량 대수를 Fig. 10에 표시하였다.

뒷좌석 SID-IIs 더미 역시 지주충돌 시험과 유사한 결과를 나타내었다. 즉, 골반 상해 확률 평균이 0.108로 매우 큰 값을 보이고 있다. 또한 MDB 시험 뒷좌석 더미는 대부분의 차량이 커튼에어백만 장착하고, 1대를 제외한 대부분의 차량에서 흉부에어백은 미장착 상태에도 불구하고 지주충돌 시험의 상해값과 유사한 경향을 보이고 있다. 이것은 차량 측면(도어) 구조물의 골반에 직접적인 접촉이 이루어지기 때문으로 생각된다. 골반부위의 높은 상해 값

Probability	P(Head)	P(Pelvis)	P _{joint}	Star
Mean	0.016	0.108	0.12	4.1
Stdev	0.018	0.098	0.10	1.21

Fig. 10 Histogram for Number of vehicles vs injury probabilities on the rear seat in MDB test

Fig. 11 Regression fittings for injury probabilities vs P_{joint} on the rear seat in MDB test

Fig. 12 P_{joint} diagram for each body injury on the rear seat in MDB test

을 갖는 차량 대수도 지주충돌과 유사하며, MDB 시험 뒷좌석 성능 역시 신뢰성 문제가 중요하다고 생각된다.

뒷좌석 더미의 각 바디 영역별 상해가 P_{joint} 에 미치는 영향을 알아보기 위하여 선형회귀분석을 시도하였으며, 그 결과는 Fig. 11에 나타내었다. 골반 상해 확률에 의한 상관도가 0.981로 머리 영역보다 크게 나타났으며, 동일한 더미를 사용하는 지주충돌 앞 좌석 더미와 유사한 결과를 보였다.

또한, Fig. 12에서 뒷좌석 P_{joint} 에 기여하는 각 바디 영역별 분포에서 골반 상해 확률 평균이 87%를 차지하였다. 지금까지 MDB 시험 뒷좌석 성능 결과를 종합하면, 비록 시험 유형, 좌석 위치뿐만 아니라 흉부에어백 착용 유무 등은 다르지만, 동일한 더미 SID-IIs를 사용하는 지주충돌 결과와 MDB 뒷좌석 성능은 매우 유사한 결과를 보였다. 정면 신차안전도 평가 결과와 성능 산포 측면에서 비교해 볼 때, 측면 충돌 시험에서 높게 나타났으며, 이것은 더미와 구조물의 직접 접촉에 의해 상해가 발생하기 때문인 것으로 보인다. 즉 측면충돌 성능의 산포를 줄이기 위하여 신뢰성 확보에 많은 노력이 필요할 것으로 보인다.

4. 결 론

지금까지 새로운 프로토콜로 NHTSA에 의해 수행된 미국 측면 신차안전도 평가시험 중 MDB 시험 및 지주(Pole) 충돌 시험 결과에 대한 통계적 분석을 하였다. 분석대상은 30대의 MY2011 승용차로 한정하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 30대 차량 중 MDB 시험 앞 좌석(ES-2re) 5star는 16대(53.3%), 뒷좌석(SID-2s)은 17대(56.8%) 그

리고 지주충돌 앞 좌석(SID-IIIs) 17대(56.8%)로 유사한 결과를 보였다. 그리고 앞 좌석 전체 평가에서 5star 차량은 14대(46.7%) 및 측면 충돌 통합 평가에서는 18대(60%) 분포를 보였다.

- 2) 측면 충돌의 가장 큰 특징은 시험 성능의 산포가 매우 크게 나타나고 있으며, SID-IIIs 두 시험 결과는 시험 유형, 착석 위치, 그리고 흉부에어백 유무에 관계없이 유사한 결과를 보였으며, 이것은 구조물의 직접적인 접촉에 의해 상해가 발생하기 때문으로 보인다. 시험의 산포를 줄이기 위하여, 측면 구조물의 적합한 설계 뿐만 아니라 에어백의 적절한 작용이 요구된다.
- 3) ES-2re 더미의 경우에는 흉부 영역, SID-IIIs 더미에서는 골반 영역의 상해 평균값이 가장 크게 나타났다으며, 산포 역시 동일한 경향을 보였다.
- 4) MDB 시험과 지주충돌 시험 성능의 상호 연관성이 떨어지므로 두 시험 성능을 동시에 향상시킬 수 있는 설계 검토가 요구된다.
- 5) 측면 충돌 안전 장치로 현재 커튼에어백 및 운전자 흉부에어백은 100% 장착율을 보이고 있으나 대부분의 차량에서 뒷좌석 흉부에어백은 미장착 상태였지만, 시험 결과는 유사한 경향을 보였

다. 즉 측면 충돌에서는 차량 구조물과 더미의 직접 접촉에 의해 상해가 발생하므로, 에어백 뿐만 아니라 차량 구조 개선이 성능 향상을 위하여 필요할 것으로 보인다.

References

- 1) Docket No. NHTSA-2006-26555, Consumer Information ; New Car Assessment Program, 2006.
- 2) Docket No. NHTSA-2011-0164, U.S. DOT/ NHTSA - NCAP Combined Crashworthiness Ratings, 2011.
- 3) H. K. Beom, "Statistical Review for USNCAP Front Crash Test Results in MY2011," Transactions of KSAE, Vol.20, No.5, pp.81-87, 2012.
- 4) The Abbreviated Injury Scale 1990 Revision, Association for the Advancement of Automotive Medicine, USA, 1990.
- 5) J. Kim, H. K. Beom, S. Kwon and C. Nam, "Reliability Analysis in Frontal EuroNCAP Tests," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.1100-1105, 2009.

법 현 군

Appendix A. Total vehicle lists for overall side test results

Make	Model	Segment	Pole Driver	MDB Driver	Driver Overall	MDB Passenger	Side Overall	Driver Curtain	Driver Torso	Pass. Curtain	Pass. Torso
Ford	Fiesta 4DR	B	4	4	4	5	5	O	O	O	X
Nissan	Versa 4DR	C	2	2	2	2	2	O	O	O	X
Mazda	Mazda3 4 Dr	C	3	5	4	2	2	O	O	O	X
Kia	Soul FWD	C	5	4	4	5	5	O	O	O	X
Nissan	Sentra 4Dr	C	5	5	5	2	3	O	O	O	X
Honda	Civic 4 Dr	C	5	2	2	4	2	O	O	O	X
Chevrolet	Cruze	C	5	5	5	5	5	O	O	O	O
Volkswagen	Jetta	C	5	4	5	5	5	O	O	O	X
Kia	Forte 4DR	C	2	3	3	5	4	O	O	O	X
Toyota	Corolla	C	1	5	4	2	2	O	O	O	X
Scion	tC	C	5	5	5	5	5	O	O	O	X
Chevrolet	Volt	C	5	5	5	5	5	O	O	O	X
Toyota	Camry	D	2	5	4	2	3	O	O	O	X
Chevrolet	Malibu	D	5	4	4	5	5	O	O	O	X
Audi	A4 FWD	D	5	4	4	5	5	O	O	O	X
Mercedes Benz	C Class	D	4	5	5	4	5	O	O	O	X
Subaru	Legacy	D	3	5	5	4	4	O	O	O	X
Hyundai	Sonata - Latest Release	D	5	5	5	5	5	O	O	O	X
Honda	Accord 4 Dr	D	5	4	4	5	5	O	O	O	X
Ford	Fusion 4 Dr FWD	D	4	5	5	3	4	O	O	O	X
Nissan	Altima	D	5	4	4	5	5	O	O	O	X
Kia	Optima	D	5	3	3	5	5	O	O	O	X
Toyota	Prius	D	5	5	5	5	5	O	O	O	X
Buick	Lacrosse AWD	D	4	5	5	4	5	O	O	O	X
Infiniti	M56x AWD	E	5	4	4	5	5	O	O	O	X
Ford	Taurus FWD	E	5	5	5	5	5	O	O	O	X
BMW	5 Series 4 DR RWD	E	5	5	5	5	5	O	O	O	X
Buick	Lucerne	E	2	1	1	2	2	O	O	O	X
Toyota	Camry (Later Release)	E	2	5	5	4	4	O	O	O	X
Buick	Lucerne (Later Release)	E	4	2	2	3	2	O	O	O	X
Average			4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	100%	100%	100%	3.3%
STDEV			1.28	1.15	1.12	1.21	1.22				
Total No. of 5 star vehicle			17	16	14	17	18	ALL	ALL	ALL	1

Appendix B. Summary of MDB test results in front seat dummy (ES-2re)

No	Make	Model	Segment	Model	HIC36	Rib Defl (mm)	Lower Spine (Gs)	Abd'm Force (N)	Pubic Force (N)	P(head)	P(chest)	P(abdm)	P(pelvs)	Driver	stars
1	Ford	Fiesta 4DR	B	2011	142.9	32.4	40.9	793.2	2503.6	0.000	0.082	0.013	0.008	0.10	4
2	Nissan	Versa 4DR	C	2011	158.4	46.2	58.7	2058.1	2822.3	0.001	0.241	0.161	0.011	0.37	2
3	Mazda	Mazda3 4 Dr	C	2011	134.5	29.5	40.7	1089.1	2191.5	0.000	0.064	0.024	0.006	0.09	5
4	Kia	Soul FWD	C	2011	174.5	33.0	45.7	1255.0	1783.7	0.001	0.086	0.033	0.004	0.12	4
5	Nissan	Sentra 4Dr	C	2011	229.2	24.1	42.0	1085.0	2730.9	0.003	0.040	0.024	0.010	0.08	5
6	Honda	Civic 4 Dr	C	2011	209.1	49.5	loss	1257.8	3969.6	0.002	0.302	0.034	0.038	0.35	2
7	Chevrolet	Cruze	C	2011	162.5	26.8	32.1	955.8	1409.2	0.001	0.051	0.018	0.002	0.07	5
8	Volkswagen	Jetta	C	2011	176.7	32.5	33.9	1010.9	1843.3	0.001	0.083	0.020	0.004	0.11	4
9	Kia	Forte 4DR	C	2011	257.7	34.3	52.1	1601.6	2784.8	0.005	0.096	0.068	0.011	0.17	3
10	Toyota	Corolla	C	2011	149.8	18.8	34.4	917.2	2164.0	0.000	0.025	0.017	0.005	0.05	5
11	Scion	tC	C	2011	106.2	11.7	31.7	714.4	1690.6	0.000	0.013	0.011	0.003	0.03	5
12	Chevrolet	Volt	C	2011	91.6	27.4	37.0	1022.9	2219.1	0.000	0.054	0.021	0.006	0.08	5
13	Toyota	Camry	D	2011	141.3	23.3	46.7	1421.7	2603.4	0.000	0.037	0.047	0.009	0.09	5
14	Chevrolet	Malibu	D	2011	106.7	38.1	30.5	868.5	2089.4	0.000	0.131	0.015	0.005	0.15	4
15	Audi	A4 FWD	D	2011	181.7	35.0	39.8	1127.4	1075.0	0.001	0.102	0.026	0.002	0.13	4
16	Mercedes Benz	C Class	D	2011	186.0	14.1	28.1	706.0	1551.3	0.001	0.016	0.011	0.003	0.03	5
17	Subaru	Legacy	D	2011	79.3	28.7	33.3	978.9	2263.0	0.000	0.060	0.019	0.006	0.08	5
18	Hyundai	Sonata	D	2011	170.2	22.2	43.5	1320.8	1931.5	0.001	0.034	0.038	0.004	0.08	5
19	Honda	Accord 4 Dr	D	2011	88.3	35.5	45.8	888.7	2785.3	0.000	0.107	0.016	0.011	0.13	4
20	Ford	Fusion 4 Dr FWD	D	2011	181.7	26.3	55.2	1124.9	2134.1	0.001	0.049	0.026	0.005	0.08	5
21	Nissan	Altima	D	2011	328.5	32.9	38.0	1179.0	1974.6	0.013	0.086	0.029	0.004	0.13	4
22	Kia	Optima	D	2011	204.9	35.0	53.5	1521.6	3076.3	0.002	0.102	0.058	0.015	0.17	3
23	Toyota	Prius	D	2011	151.8	23.5	32.3	810.1	2181.6	0.001	0.038	0.013	0.006	0.06	5
24	Buick	Lacrosse AWD	D	2011	137.9	21.5	37.6	832.8	1917.4	0.000	0.032	0.014	0.004	0.05	5
25	Infiniti	M56x AWD	E	2011	134.5	37.0	42.7	938.8	1961.6	0.000	0.120	0.017	0.004	0.14	4
26	Ford	Taurus FWD	E	2011	103.2	30.4	31.8	770.8	1498.2	0.000	0.070	0.012	0.003	0.08	5
27	BMW	5 Series 4 DR RWD	E	2011	79.8	30.4	24.0	846.5	1140.9	0.000	0.069	0.014	0.002	0.08	5
28	Buick	Lucerne	E	2011	187.7	52.0	63.9	1994.3	2764.8	0.001	0.352	0.143	0.010	0.45	1
29	Toyota	Camry	E	2011	165.0	24.7	48.1	1028.3	2355.1	0.001	0.042	0.021	0.007	0.07	5
30	Buick	Lucerne	E	2011	192.8	42.3	63.5	2234.1	2527.2	0.002	0.182	0.218	0.008	0.37	2
Mean					160.5	30.6	41.6	1145.1	2198.1	0.001	0.092	0.039	0.007	0.13	4.2
STDEV					54.3	9.4	10.4	394.8	608.2	0.002	0.080	0.049	0.007	0.11	1.15

Appendix C. Summary of Pole test results in front seat dummy (SID-IIs)

No	Make	Model	Segment	Model	HIC36	Rib Defl (mm)	Lower Spine (G's)	Abd'm defl (mm)	Iliac+acet Force (N)	P(head)	P(pelvs)	Passenger	stars
1	Ford	Fiesta 4DR	B	2011	245.9	39.3	88.0	34.4	2195.8	0.004	0.014	0.02	5
2	Nissan	Versa 4DR	C	2011	639.2	26.8	80.3	32.0	5836.3	0.090	0.306	0.37	2
3	Mazda	Mazda3 4 Dr	C	2011	266.9	47.9	84.3	45.7	5899.1	0.006	0.319	0.32	2
4	Kia	Soul FWD	C	2011	371.5	28.3	61.4	24.4	3536.6	0.019	0.048	0.07	5
5	Nissan	Sentra 4Dr	C	2011	445.8	30.7	71.8	26.7	5271.4	0.034	0.206	0.23	2
6	Honda	Civic 4 Dr	C	2011	429.8	28.2	69.1	24.7	4613.9	0.030	0.123	0.15	4
7	Chevrolet	Cruze	C	2011	327.1	27.3	29.4	22.5	3214.7	0.012	0.036	0.05	5
8	Volkswagen	Jetta	C	2011	405.3	35.3	63.0	33.0	3992.1	0.025	0.072	0.10	5
9	Kia	Forte 4DR	C	2011	449.7	40.6	88.9	33.3	2961.3	0.035	0.029	0.06	5
10	Toyota	Corolla	C	2011	179.3	36.7	80.2	33.5	5891.9	0.001	0.317	0.32	2
11	Scion	tC	C	2011	430.4	26.3	49.6	25.7	3075.0	0.030	0.032	0.06	5
12	Chevrolet	Volt	C	2011	388.3	34.4	69.5	40.1	3752.8	0.022	0.059	0.08	5
13	Toyota	Camry	D	2011	179.9	39.7	78.9	37.3	5656.5	0.001	0.271	0.27	2
14	Chevrolet	Malibu	D	2011	243.1	30.4	25.1	22.7	3552.6	0.004	0.049	0.05	5
15	Audi	A4 FWD	D	2011	133.7	12.6	71.0	12.8	3512.5	0.000	0.047	0.05	5
16	Mercedes Benz	C Class	D	2011	322.0	14.3	56.3	5.8	4502.0	0.012	0.112	0.12	4
17	Subaru	Legacy	D	2011	211.0	18.4	45.8	21.2	4732.1	0.002	0.135	0.14	4
18	Hyundai	Sonata	D	2011	199.2	37.4	69.8	30.2	2789.2	0.002	0.025	0.03	5
19	Honda	Accord 4 Dr	D	2011	409.8	34.8	74.5	36.3	3037.7	0.026	0.031	0.06	5
20	Ford	Fusion 4 Dr FWD	D	2011	326.8	38.2	77.0	36.3	4779.7	0.012	0.140	0.15	3
21	Nissan	Altima	D	2011	332.2	30.4	47.4	32.0	3918.9	0.013	0.068	0.08	5
22	Kia	Optima	D	2011	261.7	27.8	68.1	20.7	2210.2	0.005	0.014	0.02	5
23	Toyota	Prius	D	2011	270.0	28.4	61.6	12.7	4060.9	0.006	0.077	0.08	5
24	Buick	Lacrosse AWD	D	2011	339.6	26.4	61.1	18.7	4266.7	0.014	0.092	0.10	4
25	Infiniti	M56x AWD	E	2011	407.5	29.5	46.5	20.6	2353.5	0.026	0.016	0.04	5
26	Ford	Taurus FWD	E	2011	283.5	33.9	30.1	35.1	4046.1	0.007	0.076	0.08	5
27	BMW	5 Series 4 DR RWD	E	2011	190.5	26.2	41.1	14.8	1291.2	0.001	0.006	0.01	5
28	Buick	Lucerne	E	2011	377.9	30.1	68.6	27.5	5668.4	0.020	0.273	0.29	2
29	Toyota	Camry	E	2011	157.0	29.8	72.8	23.3	4448.9	0.001	0.107	0.11	4
30	Buick	Lucerne	E	2011	409.8	30.9	79.5	33.2	4844.9	0.026	0.148	0.17	3
Mean					321.1	30.7	63.7	27.2	3997.1	0.02	0.11	0.12	4.1
STDEV					112.4	7.4	17.4	9.1	1212.5	0.02	0.10	0.10	1.21

Appendix D. Summary of MDB test results in rear seat dummy (SID-IIs)

No	Make	Model	Segment	Model	HIC36	Max. Thor. rib defl (mm)	Lower Spine result (G's)	Max. Abd'm rib defl (mm)	Iliac+acet Force (N)	P(head)	P(pelvs)	Driver	stars
1	Ford	Fiesta 4DR	B	2011	184.4	24.5	57.3	21.0	4554.2	0.001	0.117	0.12	4
2	Nissan	Versa 4DR	C	2011	289.8	37.1	49.4	32.5	5194.0	0.008	0.194	0.20	2
3	Mazda	Mazda3 4 Dr	C	2011	321.4	29.5	51.7	31.0	4922.0	0.012	0.157	0.17	3
4	Kia	Soul FWD	C	2011	316.7	18.6	48.8	29.5	3932.7	0.011	0.069	0.08	5
5	Nissan	Sentra 4Dr	C	2011	391.8	25.0	39.0	19.8	3749.5	0.023	0.058	0.08	5
6	Honda	Civic 4 Dr	C	2011	252.7	27.6	59.6	18.1	4018.9	0.005	0.074	0.08	5
7	Chevrolet	Cruze	C	2011	250.6	18.3	47.3	13.4	3811.3	0.005	0.062	0.07	5
8	Volkswagen	Jetta	C	2011	323.3	20.7	50.6	21.3	3182.0	0.012	0.035	0.05	5
9	Kia	Forte 4DR	C	2011	290.0	20.7	47.7	25.3	5429.4	0.008	0.231	0.24	2
10	Toyota	Corolla	C	2011	618.8	37.8	66.0	29.5	6363.2	0.083	0.420	0.47	1
11	Scion	tC	C	2011	339.7	20.0	46.1	20.0	2852.6	0.014	0.026	0.04	5
12	Chevrolet	Volt	C	2011	187.9	20.3	39.1	16.4	2498.7	0.001	0.019	0.02	5
13	Toyota	Camry	D	2011	460.6	34.3	68.7	47.1	5066.7	0.037	0.176	0.21	2
14	Chevrolet	Malibu	D	2011	236.0	21.5	40.3	18.5	2741.1	0.004	0.023	0.03	5
15	Audi	A4 FWD	D	2011	317.7	20.0	49.5	26.7	2882.6	0.011	0.027	0.04	5
16	Mercedes Benz	C Class	D	2011	331.1	20.6	46.3	29.0	4268.1	0.013	0.092	0.10	4
17	Subaru	Legacy	D	2011	310.6	21.9	42.4	18.3	4854.9	0.010	0.149	0.16	3
18	Hyundai	Sonata	D	2011	235.6	23.1	39.6	18.4	4234.5	0.004	0.089	0.09	5
19	Honda	Accord 4 Dr	D	2011	353.2	29.5	42.0	23.7	4126.8	0.016	0.081	0.10	5
20	Ford	Fusion 4 Dr FWD	D	2011	392.7	29.9	51.0	24.9	4126.5	0.023	0.081	0.10	4
21	Nissan	Altima	D	2011	358.4	17.8	35.6	17.3	2636.2	0.017	0.021	0.04	5
22	Kia	Optima	D	2011	202.7	22.6	39.5	18.7	4069.3	0.002	0.077	0.08	5
23	Toyota	Prius	D	2011	343.4	26.5	55.6	27.8	3744.5	0.015	0.058	0.07	5
24	Buick	Lacrosse AWD	D	2011	353.6	7.5	54.9	12.9	4226.6	0.016	0.088	0.10	4
25	Infiniti	M56x AWD	E	2011	190.5	21.8	33.3	18.8	2255.4	0.001	0.015	0.02	5
26	Ford	Taurus FWD	E	2011	376.1	25.7	52.5	25.9	3306.6	0.020	0.039	0.06	5
27	BMW	5 Series 4 DR RWD	E	2011	339.6	23.4	54.8	18.6	3375.7	0.014	0.042	0.06	5
28	Buick	Lucerne	E	2011	434.2	28.9	64.3	41.2	5396.1	0.031	0.226	0.25	2
29	Toyota	Camry	E	2011	460.6	34.3	68.7	47.1	5066.7	0.037	0.176	0.21	2
30	Buick	Lucerne	E	2011	519.2	32.8	61.6	41.8	4053.4	0.052	0.076	0.13	4
Mean					332.8	24.7	50.1	25.2	4031.3	0.02	0.10	0.11	4.1
STDEV					99.5	6.6	9.7	9.2	989.1	0.02	0.09	0.09	1.28