

# BrIC 상해에 대한 경향 분석 및 고찰

이기황\* · 김기석\* · 윤일성\*

## Analysis of Research Trends for BrIC Injury

Kihwang Lee\*, Kiseok Kim\*, Ilsung Yoon\*

*Key Words* : BrIC(뇌 상해지수), Brain(뇌), HIC(두부상해지수), AIS+(약식손상척도), US NCAP(미국 신차 안전도 평가), Injury(상해치), NHTSA(미국 도로교통안전국), Head Angular Velocity(머리 회전 각속도)

### ABSTRACT

NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) has offered consumers the vehicle safety information on their car since 1978. NHTSA believes that they contribute auto makers to develop safer vehicle for customers, which will result in even lower numbers of deaths and injuries resulting from motor vehicle crashes. NHTSA has been studied why people are still dying in frontal test despite of the use of many restraints system and they understand that current test does not reflect real world crash data such as oblique and corner impact test. As a result, NHTSA announced that a new test method will be introduced to use of enhanced biofidelic dummy and new crash avoidance technology evaluation from 2019. New and refined injury criteria will be applied to Head / Neck / Chest / Lower Leg. BrIC(Brain Injury Criterion)value in NHTSA test results using THOR dummy from 2014 to 2015 was average 0.91 and 1.24 in driver and passenger dummies. IIHS 64kph SOF test is the most likely to new frontal oblique test in an aspect of offset impact which is being studied by NHTSA. In this paper, we focused on head injury, especially brain injury - BrIC and conducted IIHS 64kph SOF (Small Offset Front) test with Hybrid III dummy to evaluate the injury for BrIC. Based on the test results, these data can be predicted BrIC level and US NCAP rating with current vehicle.

### 1. 서론

차량이 충돌하는 과정에서 발생하는 승객의 머리 상해에 대한 평가 기준은 국제적으로 통용되고 있는 머리 상해치의 기준값인 두부 상해지수(HIC, Head Injury Criterion)를 사용하고 있으며, 이는 1972년에 미국 도로교통안전국(NHTSA)에서 개발되어 전 세계 모든 법규 및 NCAP(New Car Assessment Program) 시험에 채택되어 사용되고 있다. HIC은 현재 머리의 충격에 의한 상해 가능성을 판단하는 기준이다. 2000년도 통계 결과에 따르면 미국에서의 머리 상해에 의한 사망자가 50,000명에 달했으

며, 약 100만 명의 머리 상해 관련 환자가 발생하였다. 또 실제로 발생하는 사고 가운데 50%가 머리 상해와 관련되어 있으며, 사망과 상해의 주요 원인으로 밝혀졌다. 시간이 지남에 따라 각 제조사는 머리 상해치를 개선하기 위한 차량 개발에 노력하였으며, 정면 안전도평가(NCAP)에서 두개골 손상을 평가하는 HIC의 점수가 현저하게 감소했지만, 반대로 실제 사고에서의 뇌 손상 발생률은 줄어들지 않고 있다. 이것은 HIC 값이 움직임을 정확하게 대변하지 못하는 한계를 가지고 있다. 2013년 Takhoums은 머리 회전으로 인한 뇌 상해의 위험도를 평가하기 위해서 BrIC(Brain Injury Criterion)을 개발하였다.

<sup>(1)</sup>미국 도로교통안전국은 2019년부터 US NCAP에서 새로운 시험 및 평가 방법을 도입할 예정이다. BrIC상해

\* GM Korea Company

E-mail : Kihwang.lee@gm.com

에 대한 새로운 평가가 모든 시험에 적용될 것이며, 특히 새로운 북미 정면 경사각 시험(New Frontal Oblique Test)은 차세대 정면 충돌 시험용 더미인 THOR(Test device for Human Occupant Restraint)를 사용하며, 정지 상태의 차량을 이동 대차 OMDB(Oblique Moving Deformable Barrier)를 이용하여 90km/h로 충돌시키는 시험 모드이다. 본 논문에서는 여러 차량의 BrIC 상해의 수준을 파악하기 위해 유사한 시험 모드를 선정하여 충돌 시험하였고, 그 결과를 바탕으로 현재 차량의 BrIC이 어느 수준인지, 향후 상해 평가를 개발하는 데 있어서 어떤 개선점이 필요한 지 등을 확인해 보고자 한다.

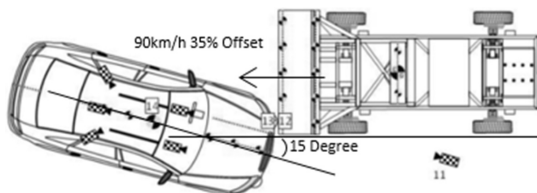


Fig. 1 Test Configuration for New Frontal Oblique Test

## 2. BrIC 상해 실험 및 분석

### 2.1. NHTSA 시험 데이터

미국 도로교통안전국은 2011년부터 정면 경사각 시험에 대한 연구 및 평가를 계속 진행해오고 있으며 2014년부터 2015년까지 실시한 10개 차종에 대한 BrIC 상해 결과를 Fig. 2와 같이 통계로 나타내었다. 운전석과 조수석에 각각 THOR 더미를 안착하여 시험하였으며, BrIC 평균값은 각각 0.91, 1.24를 나타내었다.

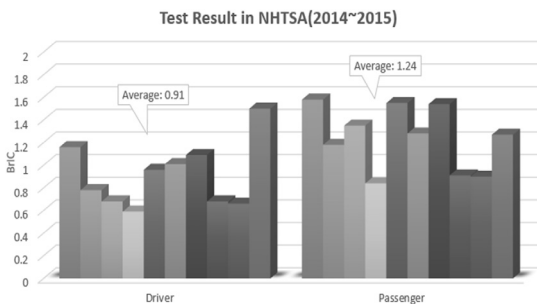


Fig. 2 Test Result in NHTSA (2014~2015)

### 2.2. 시험 방법 선정

OMDB 대차와 THOR 더미를 대체할 시험 방법을 고려하였으며, 북미 정면 경사각 시험과 유사하다고 판단되는 IIHS 64km/h Small Overlap Test를 선정하여 시험하였다. 또한 HybridIII 50<sup>th</sup>ile Dummy에 머리 각속도(Head Angular Velocity) 센서를 장착하여 BrIC을 평가하였다.

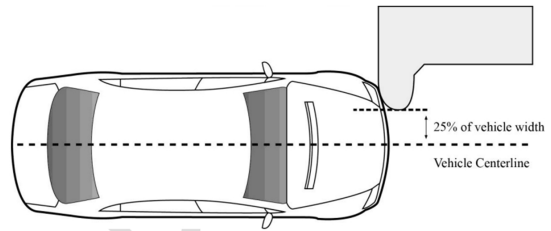


Fig. 3 Test Configuration for IIHS Small Overlap Test

BrIC은 머리 회전 각속도의 X, Y, Z를 이용하여 아래와 같이 계산된다.

$$BrIC = \sqrt{\left(\frac{\omega_x}{\omega_{xc}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_y}{\omega_{yc}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_z}{\omega_{zc}}\right)^2}$$

$$\omega_{xc} = 66.25 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{yc} = 56.45 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{zc} = 42.87 \text{ rad/s}$$

$\max(|\omega_{x,y,z}|) =$  Maximum of the absolute value of the angular velocity about the local [x, y, or z] axis.

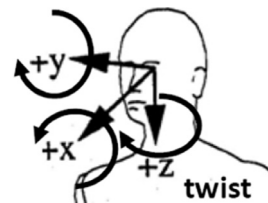


Fig. 4 Coordination system of head angular velocity

BrIC상해를 평가 시험하기 위해 상대적으로 무게가 작은 Mini차량과 무게가 많이 나가는 SUV 차량 각각 4대씩 충돌 시험을 진행하였고 편차를 줄이기 위해 모두 동일한

조건의 안전 구속장치(Constraint System)가 적용된 차량을 이용하였다. 그리고 차량 제원을 아래 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1 Test Matrix

		(kg)	(km/h)
1	Mini	1198	64.6
2	Mini	1200	64.6
3	Mini	1254	64.6
4	Mini	1206	64.6
5	SUV	1822	64.6
6	SUV	1822	64.7
7	SUV	1823	64.6
8	SUV	1826	64.3

### 2.3. 시험 결과 및 분석

아래 그래프는 Mini 차량 충돌 시험에서 취득한 머리 회전 각속도( $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ ) 데이터이다. 데이터는 충돌 시점부터 300ms의 구간을 취득 하였으며, CFC 1000 필터 처리를 하였다.

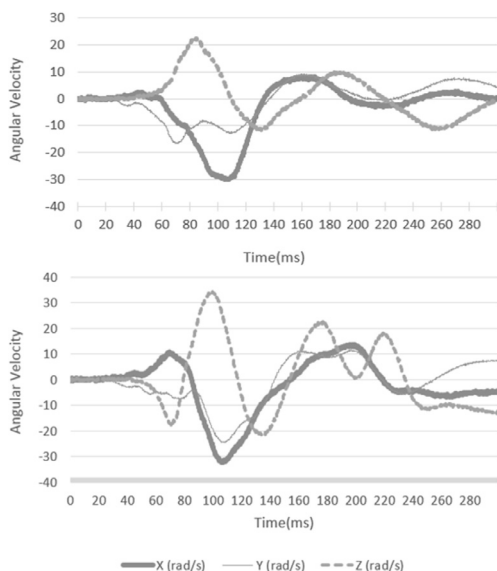


Fig. 5 Head Angular Velocity Time Histories

위의 2가지 예시에서 보듯이 각속도 데이터의 방향은 더미의 움직임에 따라 달라질 수 있다. BrIC을 계산할 때

해당 구간 내의 각 X,Y,Z축의 최대값을 취하기 때문에 방향성은 결과값에 영향을 주는 인자가 아니다. Fig. 6은 각속도 데이터결과를 절대값으로 변환하여 결과이며,  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ 를 이용하여 BrIC을 계산한다.

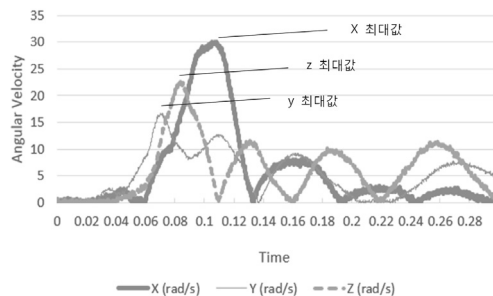


Fig. 6 Head Velocity Time Histories with Absolute Values

충돌 시험 8개 차종의 머리 각속도( $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ ), BrIC및 약식 손상척도(AIS: Abbreviated Injury Scale)로 변환한 결과를 Table 2에 정리 하였다.

Table 2 Test Results of Driver Data

		$\omega_x$ max (rad/s)	$\omega_y$ max (rad/s)	$\omega_z$ max (rad/s)	Bric X	Bric Y	Bric Z	Bric (AIS3+)	HIC (AIS3+)
1	Mini	25.3	14.4	21.8	0.15	0.08	0.26	0.70 (31%)	187.5 (0.1%)
2	Mini	29.8	16.3	20.5	0.21	0.09	0.28	0.76 (37%)	170.8 (0.1%)
3	Mini	19.3	16.2	18.5	0.15	0.09	0.22	0.68 (29%)	215.3 (0.2%)
4	Mini	17.2	17.1	37.7	0.08	0.12	0.77	0.98 (63%)	211.9 (0.2%)
	평균 (Mini)	22.7	15.9	24.3	0.14	0.09	0.38	0.78 (40%)	196.4 (0.1%)
5	SUV	4.6	13.7	12.8	0.01	0.06	0.10	0.41 (8%)	160.3 (0.1%)
6	SUV	9.2	15.5	16.7	0.02	0.08	0.17	0.51 (14%)	176.9 (0.1%)
7	SUV	42.3	22.5	38.4	0.41	0.16	0.89	1.21 (83%)	183.3 (0.1%)
8	SUV	32.1	24.2	32.8	0.24	0.19	0.64	1.04 (68%)	157.8 (0.1%)
	평균 (SUV)	24.5	19.7	28.2	0.17	0.12	0.45	0.79 (43%)	169.6 (0.1%)
	Total				0.15	0.10	0.41	0.78 (42%)	183.0 (0.1%)

AIS는 미국자동차 의학진흥협회에서 개발한 신체의 손상 부위에 따라 그 정도를 점수화하여 외상의 중증도를 객

관적으로 표시할 수 있는 국제 표준 지수이다. US NCAP 은 인체 부위의 상해를 AIS 3등급으로 변환하여 평가하는 시스템이다. 그러므로 BrIC의 결과값을 아래 AIS3 수식을 이용하여 나타내었다.

$$p(AIS \geq 3) = 1 - e^{-\left(\frac{BrIC}{0.987}\right)^{2.84}}$$

Table 2의 결과에서 운전석 BrIC과 차량의 크기는 상관 관계가 크지 않음을 알 수 있다. Mini 차량의 BrIC 평균값은 0.78(AIS3+: 40%), SUV 평균값은 0.79(AIS 3+: 43%)이다. 평균값 결과는 비슷하지만 Fig. 7에서 보듯 BrIC은 HIC에 비해 편차가 크다. BrIC의 편차는 Total 평균값 대비 최대 54%이며, HIC는 평균 183.0이며 편차는 최대 18%로 편차가 크지 않다.

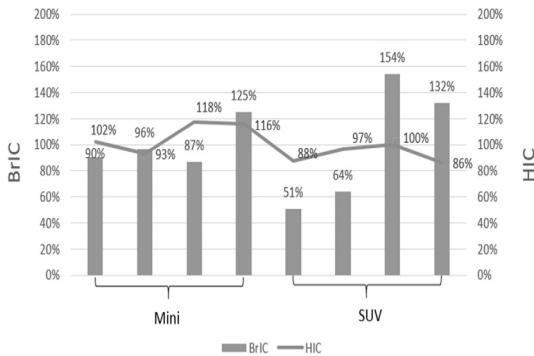


Fig. 7 Comparison between BrIC and HIC Vaule

HIC은 Hard impact에 의한 두개골의 손상을 나타내는 상해 지수이다. Fig. 7에서 보면 HIC은 편차가 크지 않다. 반면에 BrIC은 에어백의 전개되는 형상, 에어백에 안착되는 머리의 움직임 등에 큰 영향을 받기 때문에 BrIC 결과의 편차가 큰 것으로 판단된다. BrIC 결과 편차가 큰 대표적인 데이터 SUV 5번과 7번의 에어백 전개 이후 머

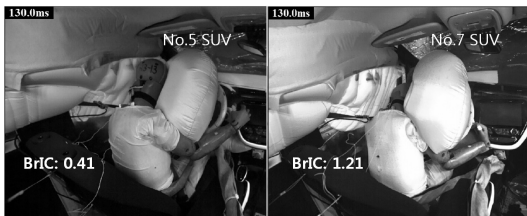


Fig. 8 Comparison between SUV no.5 vs. SUV no.7

리 움직임을 확인해 보았다. Fig. 7에서 에어백 Contact 이후의 각속도  $\omega_x$ ,  $\omega_z$  방향 회전이 많이 일어나는 것을 알 수 있다.

Table 2에서 Mini 와 SUV의 각각 머리 각속도의 평균 값을 보면 각속도 Z방향( $\omega_z$ )의 값이 가장 크다. 대부분 각속도 Z방향 성분이 크지만 X 성분이 큰 데이터도 있다. Fig. 10은 BrIC X, Y, Z 결과값을 비율로 나타낸 그래프이다.

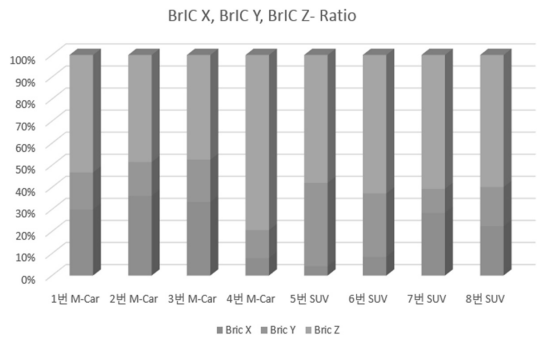


Fig. 9 Ratio of BrIC X,Y,Z results

예를 들면, 1번 Mini 차량의 머리 각속도  $\omega_x$ 값이  $\omega_z$ 보다 크다. 본문 2.2 계산식과 같이 BrIC은 머리 각속도에 대한 분포 상수값( $\omega_c$ )의 차이가 있다. 이로 인해 BrIC 값은 오히려 BrIC Z(0.26)이 BrIC X(0.15)이 보다 큰 결과를 보여주고 있다. 그러므로 각속도  $\omega_z$ 값이 BrIC 결과에 가장 많은 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다.

## 2.4. 차량 Mass Ratio 관계

시험 결과 차량의 무게 차이(Mass Ratio)로 인해 발생

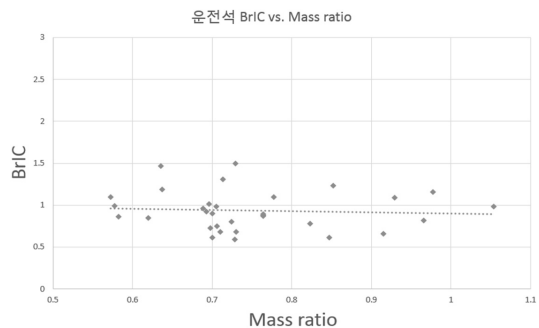


Fig. 10 BrIC vs Mass Ratio (Driver)

하는 운전자BrIC의 상해 결과값의 차이는 거의 없다고 판단된다. 즉, Mini 차량과 SUV의 평균 BrIC 값에는 큰 차이가 없었다. 이 결과와 비교하기 위하여NHSTA의 시험 데이터를 이용하여 차량 무게와의 상관 관계를 비교해 보았다.

운전석은 본 논문의 결과와 유사하게 운전자의 상해와 차량 mass의 차이에 의한 BrIC결과는 큰 편차를 보이지 않았다. 반면에 Fig. 11에서 보는 바와 같이 조수석의 경우는 무거운 차량보다 가벼운 차량에서 BrIC값이 높은 경향을 보이고 있다. 여기서 유추할 수 있는 바는 대차와의 충돌 시 가벼운 차는 무거운 차량에 비해 상대적으로 더 많은Delta V를 보일 수 있지만 운전석과 조수석에서 보여지는 BrIC의 영향도가 서로 다르므로 차량의 Mass로 인한 차이 보다는 안전 구속 장치의 적절한 상호 작용으로 인한 결과로 보여진다. 이는 운전석의 경우 DAB와 Curtain 에어백의 조합이 작용한 부분이 있고, 조수석의 경우 PAB만이 작용한 점의 차이가 있다. 또한 운전석과는 다른 조수석의 안전 벨트의 구속력도 운전석과 조수석에서 차이를 보이는 요인으로 판단된다.

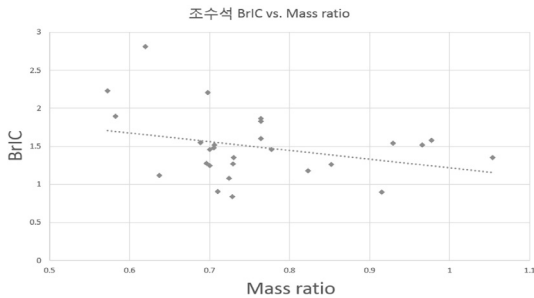


Fig. 11 BrIC vs Mass Ratio (Passenger)

2.5. US NCAP 평가(AIS 3+)

현재US NCAP의 등급은 AIS 3+ 레벨로 평가하고 있다. 이와 함께 다른 인체 부위도 AIS 3+ 결과를 비교해 보았다. 시험을 진행한 8개 차종의 시험 결과를 보여주고 있으며, 머리, 목, 가슴 부위를 AIS3+ 결과를 변환하여 표에 나타내면 Fig. 13에서 보는 바와 같이 다른 인체 부위에 비해BrIC 상해는 높은 결과를 보인다. 또한 Table 3에서와 같이 평균 45.4%의 결과를 보여주고 있으며 편차도 큼을 알 수 있다.

다른 인체 부위의 AIS 3+ 결과는 10%를 초과하지 않는 수준이다.

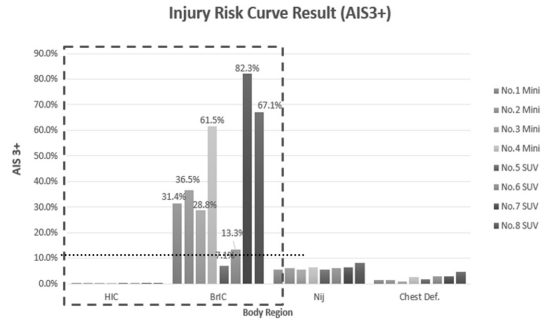


Fig. 12 Injury Risk Curve with AIS3+

Table 3 AIS 3+ Results of Each Body Region

	HIC	BrIC	Neck (Nij)	Chest Def.
AIS 3+ (Aver.)	0.1%	45.4%	6.4%	2.9%

3. 결 론

본 논문에서 2019년 US NCAP에 새로 도입될 정면 경사각 대차 테스트와 유사한 시험 조건을 선정하여 BrIC에 대한 평가를 해보았으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) BrIC은 기존HIC의 평가와는 다른 특성을 갖고 있다. HIC의 시험 편차는 크지 않았으며, 상해 결과는 안정된 수준이라 판단이 된다. 반면에 BrIC은 뇌의 회전 움직임에 기인하기 때문에 에어백 접촉 시 발생하는 머리 거동, 에어백 형상, 전개 시간 등 여러 요인들이 BrIC결과와 관련이 있을 것이다. 또한 차량 간의 결과 편차가 매우 큼을 알 수 있었다.
- 2) BrIC은 머리 회전 각속도 $\omega_z$  인자가 매우 중요함을 알 수 있었다.  $\omega_x$  가 크에도 불구하고 BrIC은 오히려  $\omega_z$  가 커지는 결과를 볼 수 있었다. US NCAP에서 좋은 평가를 얻기 위해서는 $\omega_z$  를 낮출 수 있는 차량 개발이 필요할 것이다.
- 3) 조수석의 BrIC결과는 무게가 적은 차량이 높은 경향을 보여주고 있다. 이 부분은 단순히 무게만이 아닌 여러 가지 복합적인 결과로 판단되며, 향후 조수석에 대한 BrIC과 관련하여 추가적인 연구가 필요할 것이다.
- 4) 다른 인체 부위와 BrIC을 US NCAP 평가 방법인AIS 3+ 결과로 확인하여 보았다. 다른 인체 부위는 10% 미만인 것에 비해 BrIC은 AIS 3+ 결과가 평균 45.4%

로 높은 것을 알 수 있었다. 향후 이를 대응하기 위한 안전 구속 장치 등의 대책이 필요할 것으로 사료된다.

지금까지는 제조사들은 많은 노력으로 안전 구속 장치, 차량 차체 개발 등을 통하여 안전한 차량을 만드는데 많은 기여를 하였고, 안전도 평가에서도 좋은 점수를 받고 있다. 이제는 경사각 또는 움푹 사고를 대변하기 위해 도입되는 US NCAP의 정면 경사각 시험과 같은 평가에서 좋은 점수를 받아야 할 것이다. 논문에서는 동일 차종에서도 편차가 큰 BrIC결과를 보여주고 있는데 더욱 강건한 BrIC상해 결과를 얻기 위해서 제조사들의 차체 개선 및 안전 시스템 개발 등의 추가적인 연구가 계속되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- (1) ANS-WOLFGANG HENN, "Crash Tests and the Head Injury Criterion", 1998.
- (2) Erik G. Takhounts, "KINEMATIC ROTATIONAL BRAIN INJURY CRITERION (BrIC)", 2014.
- (3) Becky Mueller, "Comparison of HIC and BrIC head injury risk in IIHS frontal crash tests to real-world head injuries", 2015.
- (4) Erik G. Takhounts, Matthew J. Craig, Kevin Moorhouse, Joe McFadden "Development of Brain Injury Criteria (BrIC)".
- (5) NHTSA, "New Car Assessment Program (NCAP) 5 RFC", 2016.
- (6) Brian G. McHenry, "Head Injury Criterion and the ATB", 2014.
- (7) Versace J, "15<sup>th</sup> Stapp Car Crash Conference, SAE Paper 710881" 1971.
- (8) Ward C, "Intracranial pressure-brain injury criterion. SAE Technical Paper 801304", 1980.
- (9) Humanetics, "THOR-50M User Manual", 2016.
- (10) IIHS, "Small Overlap Crash Test Protocol", 2016.