

USNCAP 정면충돌시험을 이용한 외상성 뇌손상에 관한 고찰

문병준* · 임재문**

A Study on the Traumatic Brain Injury Using USNCAP Frontal Crash Test Results

Byoung Joon Moon*, Jaemoon Lim**

Key Words: Frontal crash(정면충돌), HIC(머리상해기준), Traumatic brain injury(외상성 뇌손상), BrIC(뇌손상 평가기준), NCAP(신차안전도평가)

ABSTRACT

This study is to review the Brain Injury Criterion (BrIC) and the brain injury probabilities due to the Traumatic Brain Injury (TBI). For this purpose, the frontal impact test results of 20 vehicles from MY2022 and MY2023 USNCAP are utilized for estimating the BrIC and the brain injury probabilities. Using the equations suggested by Takhounts et al., the BrIC results were calculated. Using the equations suggested by Hazay et al., the brain injury probabilities were estimated. The brain injury probabilities based on the maximum principal strain (MPS) were largely estimated than those based on the cumulative strain damage measure (CSDM).

1. 서론

머리상해(Head Injury)는 두피상해(Injuries to the scalp), 두개골상해(Injuries to the skull), 뇌외출혈(Extracerebral bleeding) 및 뇌 조직 손상(Brain tissue damage)의 네 가지 유형으로 구분된다.⁽¹⁾ 뇌 조직 손상은 다시 뇌진탕(Concussion) 또는 경도의 외상성 뇌손상(MTBI, Mild Traumatic Brain Injury), 뇌 타박상(Contusion 또는 bruising), 뇌내출혈(Intracerebral hemorrhage 또는 intracranial bleeding) 및 뇌 열상(Brain laceration)의 네 가지 유형으로 구분된다.⁽¹⁾

외상성 뇌손상(TBI)은 외부 힘에 의한 충격이 머리에 가해져 뇌에 손상이 일어나는 것으로, 그 정도에 따라 경도, 중증도 및 중증의 세 단계로 나뉘며, 두통, 현기증, 메

스꺼움 등과 같은 가벼운 증상부터 심한 경우 신경세포 손상을 동반한 영구적 장애나 사망으로 이어질 수 있다.⁽¹⁻⁵⁾

외상성 뇌손상은 전 세계적으로 연간 6,800만명에게 발생하는 질환이다. 교통사고, 추락 또는 낙상, 스포츠 부상, 산업재해, 폭력 등이 주원인으로 작용한다.⁽²⁾ 미국에서는 연간 약 170만명의 외상성 뇌손상이 발생하고 있으며, 우리나라에서는 응급실 내원환자가 2008년의 2,084명에서 2017년의 26,395명으로 나타나 증가추세에 있는 것으로 확인되었다.^(2,3)

뇌손상 메커니즘은 양압 메커니즘(Positive pressure Mechanism), 음압 메커니즘(Negative pressure mechanism), 압력 구배 메커니즘(Pressure gradient mechanism) 및 회전 메커니즘(Rotational mechanism)의 네 가지 이론이 제시되어 왔다.⁽¹⁾ 압력관련 메커니즘에 의한 뇌손상 이론은 뇌의 병진 운동(Translational motion)에 따른 선형가속도(Linear acceleration)에 기인하는 것으로 정의한다. 머리에 충격이 가해졌을 때 두개골의 굽힘 변형과 머리의

* 전남도립대학교 미래자동차학과, 교수

** 대덕대학교 기계설계과, 교수

E-mail: jmlim@ddu.ac.kr

가속도에 의해 충격이 가해진 쪽에서 양의 압력이 발생하여 파형(Wave)으로 뇌를 거쳐 다른 쪽으로 전달되며 반대쪽에서 반사되어 음의 압력을 생성하여 뇌손상을 가져온다는 이론이다. 뇌의 회전운동(Rotational motion)에 의한 뇌손상 이론은 뇌의 회전에 의해 발생한 전단응력(Shear stress)이 뇌손상을 가져오는 것으로 보고 있다.

뇌손상 상해 평가기준(Metrics)의 경우, 선형운동에 의한 것보다는 회전운동에 의한 평가기준이 더 적합한 것으로 알려져 있다.^(5,6) 즉, 선형가속도로부터 구한 HIC(Head Injury Criterion)는 뇌손상을 잘 반영하지 못하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 미국 NHTSA에서는 회전운동에 의한 가속도를 기반으로 뇌손상 상해기준을 제시하고 있다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 미국의 USNCAP 정면충돌시험 결과를 이용하여 외상성 뇌손상을 살펴보고자 한다.

2. 외상성 뇌손상 상해기준

미만성 축삭 손상(DAI, Diffuse Axonal Injury)은 가장 흔한 뇌손상 유형으로 알려져 있으며, 축삭(Axon)에 발생하는 변형률(Strain)이 가장 일반적인 원인이며 뇌내 압력과 전파(Intracranial pressure wave propagation)가 그다음 원인으로 꼽히고 있다.⁽¹⁾ 미만성 축삭 손상(DAI)을 판단하기 위한 도구는 CSDM(Cumulative Strain Damage Measure, 누적 변형률 손상 측정)과 MPS(Maximum Principal Strain, 최대 주 변형률)가 사용되고 있다.^(6,7)

Takhounts 등은 사람에게 적합하게 스케일링한 붉은털 원숭이(Rhesus monkey), 개코원숭이(Baboon) 및 미니 돼지(Miniature pig) 등의 총 67개의 동물 뇌손상 실험 결과와, SIMon 및 GHBMIC 유한요소 머리모델을 이용하여 생체역학적인 상해 평가기준(Metrics)을 도출하기 위하여 CSDM과 MPS를 사용하였고, 모든 유형의 인체모형(ATD, Anthropomorphic Test Device)에 적합한 외상성 뇌손상 상해기준인 BrIC(Brain Injury Criterion)을 식 (1)과 같이 도출하였다.⁽⁶⁾ Hazay 등은 SIMon 유한요소모델을 이용하여 미만성 축삭 손상 평가에 BrIC이 적합하다는 것을 밝혔다.⁽⁷⁾

$$BrIC = \sqrt{\left(\frac{\omega_x}{\omega_{x,C}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_y}{\omega_{y,C}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_z}{\omega_{z,C}}\right)^2} \quad (1)$$

여기에서, ω_x , ω_y , ω_z 는 각 방향의 최대 각속도이며, 각 방향의 임계 각속도는 각각 $\omega_{x,C} = 66.25 \text{ rad/s}$, $\omega_{y,C} = 56.45 \text{ rad/s}$, $\omega_{z,C} = 42.87 \text{ rad/s}$ 로 주어진다. Takhounts 등

은 임계 각속도 값이 발생하는 시간과 무관하게 각 방향별 최대 각속도 값을 구하는 것이 보다 적합하다고 밝혔다.⁽⁶⁾

3. 뇌손상 상해 가능성 계산

식 (1)에 의한 뇌손상 평가기준인 BrIC을 구하기 위하여 USNCAP에서 56 km/h로 정면충돌시험을 수행한 MY2022 및 MY2023 차종 중 무작위로 선정한 20 차종을 Table 1에 나타내었으며, Table 2에 각 방향별 최대 각속도 값을 구하여 나타내었다.⁽⁸⁾ 각속도는 회전방향이 반시계방향인 경우에 양(+)의 값을 가지며, 시계방향인 경우에는 음(-)의 값을 가진다.

운전자석 및 탑승자석의 인체모형에 대해 구한 BrIC 값을 Table 3에 나타내었다. 식 (1)에서 BrIC 값이 1이 되면 50%의 AIS 4+ 상해가능성을 가지는 것을 의미한다.⁽⁶⁾ Table 3에 나타난 것과 같이, 자동차별 BrIC 값 중에서 19번 자동차의 운전자석 인체모형에서 0.971로 최대값이 구해졌으며, 13번 자동차의 탑승자석 인체모형에서 최소값인 0.32가 구해졌다.

20차종의 운전자석과 탑승자석의 인체모형으로부터 구

Table 1 Specifications of tested vehicles

No.	Vehicle	Type	MY	Weight	Engine
1	Civic LX	Sedan	2022	1,483 kg	2.0 L
2	Tucson SEL	SUV	2022	1,825 kg	2.5 L
3	Ioniq 5	SUV	2022	2,248 kg	EV
4	Bolt	Hatchback	2022	1,808 kg	EV
5	Q4 e-tron	SUV	2022	2,483 kg	EV
6	Corolla Cross LE	SUV	2022	1,727 kg	2.0 L
7	EV6 Wind	SUV	2022	2,235 kg	EV
8	Integra A-Spec	Hatchback	2023	1,574 kg	1.5 L
9	Explorer XLT	SUV	2023	2,246 kg	2.3 L
10	Tiguan S	SUV	2023	1,986 kg	2.0 L
11	Niro EX HEV	SUV	2023	1,635 kg	1.6 L
12	Kona EV	MPV	2023	1,870 kg	EV
13	CX-50 S	SUV	2023	1,842 kg	2.5 L
14	X1	SUV	2023	1,941 kg	2.0 L
15	Lexus GX460	SUV	2023	2,603 kg	4.6 L
16	Mini Countryman	Hatchback	2023	1,799 kg	2.0 L
17	Lexus RX350	SUV	2023	2,212 kg	2.4 L
18	Genesis GV70	SUV	2023	2,214 kg	2.5 L
19	Pilot LX	SUV	2023	2,215 kg	3.5 L
20	Santa Cruz SEL	Truck	2023	2,061 kg	2.5 L

Table 2 USNCAP test results for frontal impact

Veh. No.	Driver (rad/s)			Passenger (rad/s)		
	ω_x	ω_y	ω_z	ω_x	ω_y	ω_z
1	-10.27	-29.75	-6.04	11.22	-23.63	9.52
2	-6.15	-26.12	5.45	5.55	18.31	-6.48
3	17.58	-28.85	20.22	-5.13	27.41	-7.12
4	-13.40	-14.85	15.96	-10.13	27.02	-24.63
5	-9.98	16.52	-17.87	20.09	-22.57	23.73
6	-14.33	-29.04	23.46	8.96	15.9	-15.33
7	8.92	-35.43	7.49	4.22	-29.36	-5.95
8	-10.07	-25.16	9.36	-1.18	18.96	-9.68
9	-16.62	-25.55	12.38	-5.38	-35.04	-5.73
10	-10.67	18.96	12.03	-9.77	-27.99	-8.54
11	-5.06	-27.36	-13.08	5.64	-17.93	-7.01
12	-6.44	21.95	8.58	-5.02	-21.2	-16.45
13	-15.34	-31.47	10.00	-4.16	-16.09	-5.37
14	-5.00	-25.66	7.77	12.29	27.49	21.20
15	-18.97	-22.84	18.61	-13.89	-31.96	-19.42
16	-7.35	-22.65	7.71	18.54	-26.03	-21.60
17	-5.59	-30.63	5.22	6.68	19.61	9.27
18	-10.62	-24.24	8.13	21.63	19.96	-31.97
19	-18.88	21.50	36.23	8.59	-18.22	25.09
20	-15.05	-24.94	-10.09	4.18	21.70	-3.47

Table 3 BrIC results

Veh. No.	BrIC		Veh. No.	BrIC	
	Driver	Passenger		Driver	Passenger
1	0.57	0.50	11	0.58	0.37
2	0.49	0.37	12	0.45	0.54
3	0.74	0.52	13	0.65	0.32
4	0.50	0.76	14	0.50	0.72
5	0.53	0.75	15	0.66	0.75
6	0.78	0.47	17	0.45	0.74
7	0.67	0.54	17	0.56	0.42
8	0.52	0.41	18	0.50	0.89
9	0.59	0.64	19	0.97	0.68
10	0.47	0.55	20	0.55	0.40

한 BrIC 값이 어느 정도의 상해가능성이 있는지를 파악하기 위하여 Takhounts 등과 Hazay 등이 제안한 상해위험도 곡선을 이용하였다.^(6,7)

Takhounts 등은 CSDM과 MPS에 기반한 BrIC으로부

터 미만성 축삭 뇌손상 가능성을 계산하는 상해위험도 곡선을 각각 식 (2)와 (3)으로 나타내었으며, MPS가 CSDM보다 미만성 축삭 손상(DAI) 판정에 더 적합한 것으로 나타내고 있다.⁽⁶⁾

$$P_{CSDM}(AIS4) = 1 - e^{-\left(\frac{BrIC - 0.523}{0.647}\right)^{18}} \quad (2)$$

$$P_{MPS}(AIS4) = 1 - e^{-\left(\frac{BrIC}{1.204}\right)^{204}} \quad (3)$$

Hazay 등은 식 (2)와 (3)의 신뢰성(Reliability)을 개선하여 상해위험도 곡선을 식 (4)와 (5)로 제안하였으며, CSDM이 MPS보다 미만성 축삭 손상(DAI)에 더 적합한 것으로 나타내고 있다.⁽⁷⁾ 또한 CSDM과 MPS를 기반으로 외상성 경막하 출혈(ASDH, Acute Subdural Hematoma)과 뇌 타박상(Contusion)을 반영한 상해가능성을 도출할 수 있는 복합 뇌손상 상해위험도 곡선을 식 (6) 및 (7)과 같이 제시하였다.⁽⁷⁾ 식 (5)에서 Φ 는 누적 표준 정규 분포 함수(Cumulative standard normal distribution function)을 나타낸다.

$$P_{DAI(MPS)}(BrIC) = 1 - e^{-\left(\frac{BrIC}{1.4283}\right)^{2088}} \quad (4)$$

$$P_{DAI(CSDM)}(BrIC) = \Phi\left(\frac{\ln(BrIC) - 0.0957}{0.3556}\right) \quad (5)$$

$$P_{AIS4+(MPS)}(BrIC) = 1 - e^{-\left(\frac{BrIC}{0.9048}\right)^{2294}} \quad (6)$$

$$P_{AIS4+(CSDM)}(BrIC) = 1 - e^{-\left(\frac{BrIC}{0.9435}\right)^{3150}} \quad (7)$$

식 (4)에서 (7)을 이용하여 계산한 뇌손상 상해가능성(Injury probability)을 Table 4와 Table 5에 나타내었다. Table 4에 나타낸 것과 같이, MPS에 의한 상해위험도와 CSDM에 기반한 상해위험도가 다소 차이를 나타내는 것을 알 수 있다.

Table 5에 나타낸 것과 같이, 외상성 경막하 출혈(ASDH)과 뇌 타박상(Contusion) 가능성을 포함시킨 복합 뇌손상 상해위험도는 미만성 축삭 손상에 의한 뇌손상 가능성보다 전체적으로 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

Table 4 Injury probabilities obtained by MPS and CSDM

Veh. No.	$P_{DAI(MPS)}(BrIC)$		$P_{DAI(CSDM)}(BrIC)$	
	Driver	Passenger	Driver	Passenger
1	0.143	0.111	0.032	0.013
2	0.107	0.062	0.011	0.001
3	0.231	0.120	0.132	0.018
4	0.111	0.242	0.013	0.149
5	0.125	0.236	0.020	0.140
6	0.253	0.099	0.167	0.008
7	0.193	0.129	0.081	0.023
8	0.120	0.076	0.018	0.003
9	0.152	0.177	0.040	0.064
10	0.099	0.134	0.008	0.026
11	0.148	0.062	0.036	0.001
12	0.091	0.129	0.006	0.023
13	0.183	0.047	0.069	0.000
14	0.111	0.220	0.013	0.116
15	0.188	0.236	0.075	0.140
16	0.091	0.231	0.006	0.132
17	0.138	0.080	0.029	0.003
18	0.111	0.317	0.013	0.275
19	0.366	0.198	0.361	0.088
20	0.134	0.072	0.026	0.002

Table 5 Combined Injury probabilities

Veh. No.	$P_{AIS+(MPS)}(BrIC)$		$P_{AIS+(CSDM)}(BrIC)$	
	Driver	Passenger	Driver	Passenger
1	0.293	0.226	0.184	0.126
2	0.217	0.121	0.119	0.051
3	0.468	0.245	0.371	0.141
4	0.226	0.488	0.126	0.397
5	0.254	0.478	0.149	0.384
6	0.509	0.199	0.422	0.105
7	0.395	0.264	0.288	0.158
8	0.245	0.150	0.141	0.069
9	0.313	0.364	0.203	0.254
10	0.199	0.273	0.105	0.166
11	0.303	0.121	0.194	0.051
12	0.182	0.264	0.092	0.158
13	0.374	0.088	0.265	0.032
14	0.226	0.447	0.126	0.347
15	0.384	0.478	0.276	0.384
16	0.182	0.468	0.092	0.371
17	0.283	0.158	0.175	0.075
18	0.226	0.618	0.126	0.565
19	0.691	0.405	0.664	0.299
20	0.273	0.142	0.166	0.064

4. 고찰

미국의 NHTSA는 향후 USNCAP을 더욱 발전시키기 위한 여러 방안들 중에서 THOR 및 WorldSID 등의 사용과 더불어, 머리 상해 가능성을 평가하기 위하여 HIC 외에도 BrIC을 추가하여 사용할 예정이라고 밝혔다.⁽⁹⁾ 다만 BrIC 도입에 대한 구체적인 일정과 상해기준값은 아직 구체화되지 않은 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 MY2022 및 MY2023에 수행한 자동차 20차종에 대한 정면충돌시험 결과로부터 BrIC 값을 도출하였으며, Hazay 등이 제시한 상해위험도 곡선 식을 사용하여 뇌손상 가능성을 구하였다.

Table 4에 나타낸 것과 같이, MPS에 기반한 미만성 측삭 손상(DAI) 가능성이 CSDM에 기반한 미만성 측삭 손상 가능성 보다 높게 나오는 것을 알 수 있다. BrIC 값이 1.0에 가까워지거나 0에 가까워지면 MPS에 기반한 미만성 측삭 손상(DAI) 가능성과 CSDM에 기반한 미만성 측삭 손상 가능성에 큰 차이가 없는 것을 알 수 있으나, BrIC

값이 0.5에 가까워지면 두 방법 사이에 차이가 커지는 것을 알 수 있다.

2번 자동차의 경우에 운전자석 인체모형의 BrIC 값은 0.49로 MPS에 기반한 뇌손상 가능성은 AIS 4+ 기준 10.7%, CSDM에 기반한 뇌손상 가능성은 AIS 4+ 기준 1.1%로 나타나 9.6% 차이가 났지만, 탑승자석 인체모형의 BrIC 값은 0.37로 MPS에 기반한 뇌손상 가능성은 AIS 4+ 기준 6.2%, CSDM에 기반한 뇌손상 가능성은 AIS 4+ 기준 0.1%로 나타나 6.1% 차이로 줄어드는 것을 알 수 있다.

19번 자동차의 경우에 운전자석 인체모형의 BrIC 값은 0.97로 MPS에 기반한 뇌손상 가능성은 AIS 4+ 기준 36.6%, CSDM에 기반한 뇌손상 가능성은 AIS 4+ 기준 36.1%로 나타나 비슷한 값으로 구해졌지만, 탑승자석 인체모형의 BrIC 값은 0.68로 MPS에 기반한 뇌손상 가능성은 AIS 4+ 기준 19.8%, CSDM에 기반한 뇌손상 가능성은 AIS 4+ 기준 8.8%로 나타나 10% 이상 차이가 나는 것을 알 수 있다.

Table 5에 나타낸 것과 같이, MPS에 기반한 복합 뇌손상 상해가능성도 CSDM에 기반한 복합 뇌손상 가능성보다 높게 나오는 것을 알 수 있다.

Takhounts 등은 상해위험도 곡선의 신뢰도 측면에서는 MPS에 기반한 상해위험도 곡선 식이 CSDM에 기반한 것보다 적합하다고 했으나,⁽⁶⁾ Hazay 등은 CSDM에 기반한 상해위험도 곡선 식이 MPS에 기반한 것보다 적합하다고 하여,⁽⁷⁾ 두 연구 사이에 다소 상반된 것으로 나타나고 있다. 본 연구에서 구한 상해위험성 결과로부터, 탑승자의 상해위험도를 줄이고 보다 안전한 자동차를 제작한다는 관점에서 보면, MPS에 기반한 뇌손상 상해 위험성을 구하는 것이 더 적합하다고 판단된다.

Table 6에는 HIC로 구한 머리상해 가능성과 BrIC으로 구한 뇌손상 가능성의 연관성을 파악하기 위하여 BrIC 값과 HIC 값을 비교하여 나타내었다. 전반적으로 밀접한 연관성을 찾을 수 없으며 서로 독립적인 성향이 있는 것을 파악할 수 있다.

16번 자동차의 운전자석과 탑승자석의 인체모형은 BrIC

값이 각각 0.56과 0.42이고 HIC 값은 각각 165와 472이다. 19번 자동차의 운전자석과 탑승자석의 인체모형은 BrIC 값이 각각 0.97과 0.68이고 HIC 값은 각각 382와 440이다. 16번 자동차와 19번 자동차의 결과에서 보는 것과 같이, HIC 값이 높다고 해서 BrIC 값이 높은 것은 아님을 알 수 있다. 즉, 인체모형의 머리부위 선형가속도로부터 구한 HIC 값이, 머리 부위의 회전운동에 의한 각속도로부터 구한 BrIC 값과의 연관성이 떨어지므로, HIC 값으로부터 뇌손상을 정확하게 파악하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

외상성 뇌손상(TBI)은 교통사고, 추락 또는 낙상 및 스포츠 활동 등으로 인해 높은 빈도로 발생하고 있다. 본 연구에서는 MY2022 및 MY2023 USNCAP 정면충돌시험 결과를 이용하여, 인체모형 머리부위의 회전운동에 의한 각속도로부터 뇌손상 상해기준인 BrIC 값과 뇌손상 상해가능성을 구하였다.

BrIC 값이 0.97인 경우에는 MPS에 기반한 상해위험도 곡선 식으로부터 뇌손상 상해가능성이 AIS 4+ 기준 36.6%로 나타났으며, BrIC 값이 0.32인 경우에는 뇌손상 가능성이 AIS 4+ 기준 4.7%로 나타났다.

머리 부위의 회전 각속도로부터 구한 BrIC 값은 선형가속도로부터 구한 HIC 값과 연관성이 적은 것을 알 수 있었으며, HIC 값이 낮아도 BrIC 값은 크게 나오거나 HIC 값이 높아도 BrIC 값은 낮게 나오는 것도 확인하였다.

BrIC이 자동차 관련 법규 및 신차안전도평가(NCAP) 등에 평가기준으로 포함된다면, 자동차 안전도를 더욱 향상시킬 수 있는 계기가 될 것으로 보고 있다. 다만, BrIC은 동물의 머리상해 시험 결과로부터, SIMon과 GHBMCM 유한요소 머리모델을 이용하여 도출한 시뮬레이션 결과이므로 관련 연구가 더 진행되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- (1) King, A. I., 2018, "The Biomechanics of Impact Injury," Springer.
- (2) 질병관리청, 2021, "외상성 뇌손상," 질병관리청 국가건강정보포털, health.kdca.go.kr/healthinfo/.
- (3) 이상현, 2020, "외상성 뇌손상의 현황 및 예방 전략," 질병관리청, 주간 건강과 질병, 제13권, 제12호, pp. 674~691.
- (4) Alshareef, A. A., 2019, "Deformation of the Human

Table 6 BrIC vs. HIC

Veh. No.	BrIC		HIC	
	Driver	Passenger	Driver	Passenger
1	0.57	0.50	325	444
2	0.49	0.37	364	325
3	0.74	0.52	313	202
4	0.50	0.76	132	285
5	0.53	0.75	165	264
6	0.78	0.47	191	330
7	0.67	0.54	122	170
8	0.52	0.41	231	328
9	0.59	0.64	118	210
10	0.47	0.55	260	198
11	0.58	0.37	241	362
12	0.45	0.54	128	184
13	0.65	0.32	100	211
14	0.50	0.72	223	311
15	0.66	0.75	439	387
16	0.45	0.74	163	301
17	0.56	0.42	165	472
18	0.50	0.89	274	249
19	0.97	0.68	382	440
20	0.55	0.40	217	230

- Brain Under Rotational Loading,” Ph.D. Thesis. Univ. of Virginia.
- (5) Gabler, L. F. and Brandmeier, T., 2017, “Development of Improved Metrics for Predicting Brain Strain in Diverse Impacts,” Ph.D. Thesis, Univ. of Virginia.
- (6) Takhounts, E. G., Craig, M. J., Moorhouse, K., and McFadden, J., 2013, “Development of Brain Injury Criteria (BrIC),” Stapp Car Crash Journal, pp. 243~266.
- (7) Hazay, M. and Bojtár, I., 2021, “Evaluation of brain injury criteria based on reliability analysis,” Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol. 23, No. 1, pp. 173~185.
- (8) National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2024, Vehicle Crash Test Database, <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/databases/VSR/veh/QueryVehicle.aspx>.
- (9) National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2015, “New Car Assessment Program,” Docket No. NHTSA-2015-0119.