

AE-MDB 시험결과에 따른 인체상해 및 차체 특성

김도엽* · 이재완** · 장형진** · 용부중*

Characteristics of Vehicle Structure Deformation and Body Injury caused by Side Impact Test using AE-MDB

Doyup Kim*, Jaewan Lee**, Hyungjin Chang**, Boojoong Yong*

Key Words : New Car Assessment Program (신차 안전도평가 제도), AE-MDB (Advanced European-Mobile Deformable Barrier), Head Injury Criterion (머리상해기준), Chest Deflection (흉부압박량), Abdominal Force (복부하중), Pubic Symphysis Force (치골하중)

ABSTRACT

Side collisions (or side crash) account for 51.6% of all car to car accidents occurred in 2010. It is necessary to analyze those vehicles' structure deformation and passengers' injuries in the side collisions. A moving barrier (950kg) is currently used in the KNCAP side impact test. However, in order to enhance a passengers' safety in the side collisions, we introduce an AE-MDB (1500kg) which provides more severe conditions for this test. In this study, the test results using both barriers are compared and analyzed.

1. 서론

주 5일제의 확대에 따른 여가시간의 증가와 더불어 경제 발전에 힘입어 자동차의 판매량이 지속적으로 증가하는 추세이다. 도로교통공단의 통계에 따르면 자동차 등록 대수는 10년간 약 500만대(연 평균증가율 5%)가 증가하였으며, 2010년 1,977만대로 2009년 1,914만대보다 3.2%(62만대) 증가하였다. 2010년 차 대 차 사고 발생건수는 총 167,035건으로 집계되었으며, 이중 측면 충돌 사고 발생건수는 86,156건으로 51.6%에 해당한다. 이는 차 대 차 사고에서 차지하는 비중이 가장 높았다. 또한 다목적 차량 및 중대형 차량의 증가로 1,400kg 이상 승용차의 등록대수가 3년 단위로 급격히 증가하고 있으며, 10년간 연평균 20.3%의 증가율을 보였다. 2010년 하반기 국내 승용차 등록현황에서 중량으로 구분하게 되면 1,400kg 이상의 승용차 등록비율이 56%로

1,400kg미만의 승용차 등록비율을 추월하였다. 1,400kg 이상~1,600kg미만의 자동차가 3,166,513대로 총 등록 대수 13,554,747대의 24%에 해당한다. 이는 승용차 등록현황 중 가장 높은 수치를 보이고 있으며, 과거의 승용자동차에 안전과 편의사양의 장착으로 인해 무게가 증가하는 것으로 보인다.

이에 KNCAP 측면충돌안전성평가 시험에서 자동차의 대체물로 사용되는 이동대차와 하니콤(Honeycomb)은 현재의 자동차 중량, 디자인, 강성 등의 특성을 반영하지 못하고 있다는 한계가 다양한 연구를 통해 보고되고 있다. 유럽에서는 이와 같은 문제점을 인식하여 2004년부터 측면충돌 이동벽을 개선하는 연구를 진행하였고, 연구를 통해 AE-MDB (Advanced European-Mobile Deformable Barrier)를 개발하고 있다. 본 논문에서는 동일한 중형(1236kg, 1600cc) 자동차를 이용하여 KNCAP 측면충돌 평가방법과 AE-MDB 이동대차를 이용한 측면충돌시험을 비교하여 두 시험의 특성 차이를 살펴보고자 한다.

* 경일대학교

** 교통안전공단 자동차안전연구원

E-mail : yong@kiu.ac.kr

2. 측면충돌 시험방법 및 평가방법

2.1. 시험방법

KNCAP의 측면충돌 시험은 시험용 자동차의 운전석에 측면충돌용 인체모형인 EuroSIDII를 탑재하여 이동대차를 시속 55km/h의 속도로 일반승용차의 전면부 형상 및 특성을 갖춘 이동벽이 멈춰있는 시험용 자동차의 측면에 수직으로 충돌하는 상황을 재현한 것으로 Fig. 1과 같고, 이동벽의 모양과 제원은 Table 1과 Fig. 2에 간략히 나타내었다.

AE-MDB 시험은 KNCAP 측면 시험과 동일한 방법으로 수행된다. 다만, 기존의 충돌부위에서 250mm후방이동 하여 시험 하였다. 현재 KNCAP에서 사용하고 있는 Progressive Type 알루미늄 하니콤을 개선시킨 AE-MDB용 하니콤의 모양은 Fig. 3과 같고 제원은 Table 1에 간략히 나타내었다.

Table 1에 나타낸 무게는 하니콤을 포함한 이동대차의 무게로써 AE-MDB는 1500kg이고, KNCAP은 950kg으로 AE-MDB가 550kg 상승되었다.

너비의 경우 하니콤의 너비로 KNCAP은 1,500mm이고, AE-MDB는 1,700mm로 200mm가 넓어졌으며, 하니콤의 높이의 경우는 두 하니콤 모두 500mm로 동일하다. 지상에서부터 하니콤 하단부까지의 높이는 KNCAP에서 300mm이고, AE-MDB의 경우 350mm로

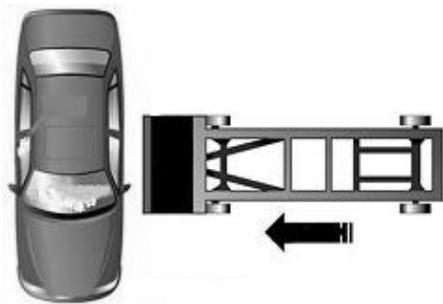


Fig. 1 The schematic diagram of KNCAP side impact test

Table 1 Comparison KNCAP MDB and AE-MDB

	무게 [kg]	너비 [mm]	높이 [mm]	지상과의 거리 [mm]
KNCAP	950	1,500	500	300
AE-MDB	1,500	1,700	500	350

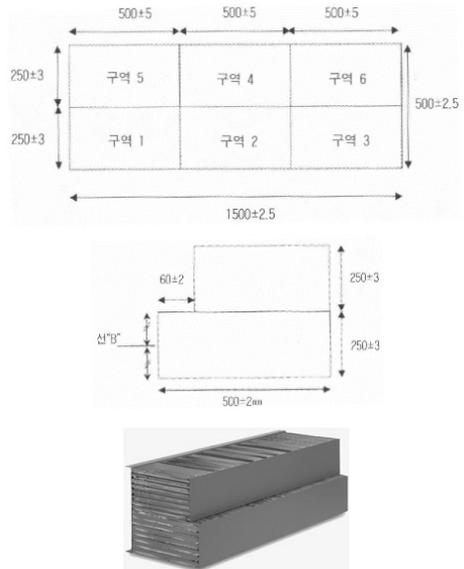


Fig. 2 KNCAP MDB dimensions

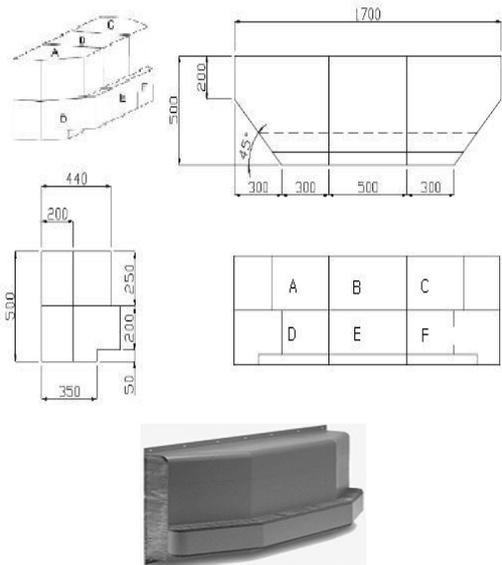


Fig. 3 AE-MDB dimensions

50mm가 상승되었다.

Fig. 2와 Fig. 3에 나타낸 그림은 하니콤의 모양 및 각 구역별 치수, 허용오차범위를 나타낸 것으로 단위는 mm이다.

시험 자동차에는 별도로 차체 가속도 값을 측정하기 위한 가속도센서를 자동차의 측면방향으로 B-Pillar

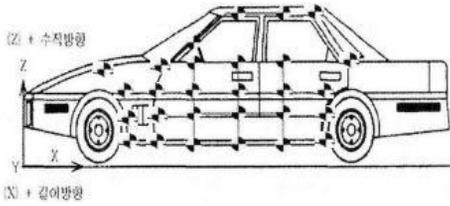


Fig. 4 The schematic diagram of measuring points

하단, 내측면 양쪽에 부착하고 시험 전·후 차체 변형량을 측정하기 위해 측정부위에 표적을 붙였다. 표적의 위치는 Fig. 4와 같이 자동차의 운전자석 착석기준점(H-Point)을 기준으로 125mm 간격으로 문턱높이에서 창문 상단부까지 측정하였다.

2.2 상해등급

운전자석에 착석시킨 인체모형의 머리, 흉부, 복부와 골반에 받게 되는 상해값을 측정한 후 인체 각 부위별로 점수를 부여하며, 16점을 만점으로 한다. 흉부 압축변위량(Rib Deflection)과 흉부 연성조직기준값(Viscous Criterion)은 갈비뼈 부위에서 측정한 상, 중, 하의 값 중에서 큰 상해치를 채택한다. 흉부 상해치는 흉부 압축변위량과 흉부 연성조직값 중 낮은 점수를 채택한다. 각 상해치에 해당하는 인체 부위별 점수는 상해값에 따라 보간법으로 산출하며, Table 3과 같다. 각 부위별 측정점수는 높을수록 좋으며, 점수의 총합에서 16점 만점의 의미는 인체모형의 머리와 흉부에 중상가능성은 5% 이하이고, 복부 파열과 골반골절은 발생하지 않음을 의미한다.

중상가능성은 Table 3에 나타난 것과 같이 미국의

Table 2 The conversion point for injury of dummy parts

구분	상해 기준값	점수	중상(AIS3) 가능성
머리	650~1,000	0~4 점	5~20 %
흉부	22~42 mm	0~4 점	5~30 %
	0.32~1.0 m/s		5~50 %
복부 내부하중	1.0~2.5 kN	0~4 점	복부파열(0)
치골 유착하중	3.0~6.0 kN	0~4 점	골반골절(0)
계		0~16 점	5~50 %

Table 3 Abbreviated injury scale

상해등급 (AIS)	머리	흉부	사망률(%)
1. Minor	두통 또는 현기증	늑골 1개 골절	0.0
2. Moderate	의식불명 (1시간 미만) 선형 골절	늑골 2~3개 골절, 흉부 골절	0.1~0.4
3. Serious	의식불명 (1~6시간 미만) 함몰 골절	심장 타박상, 늑골 2~3개 골절 (혈, 기흉 존재)	0.8~2.1
4. Severe	의식불명 (6~24시간 미만) 소 혈종	늑골 양쪽 3개 이상 골절, 흉부 손상	7.9~10.6
5. Critical	의식불명 (24시간 이상) 대 혈종	대동맥의 심한 열상	53.1~58.4
6. Maximum Injury	-	-	사실상 생존 불가

Table 4 Side impact safety points for star ratings

별등급(Star rating)	점수(Point)
★★★★★	13.00 ~ 16.00
★★★★	9.00 ~ 12.99
★★★	5.00 ~ 8.99
★★	2.00 ~ 4.99
★	0.00 ~ 1.99

약식상해등급(AIS : Abbreviated Injury Scale) 기준에 의하여 3등급, 즉 1~6시간 미만의 의식불명, 함몰골절, 심장타박상, 늑골 2~3개 골절(혈 또는 기흉 존재)을 의미하며 사망률은 0.8~2.1% 이다.

그리고 측정점수를 5단계로 구분하여 최고등급을 별 5개, 최저등급을 별 1개로 표시하며 별 개수별 상해점수는 Table 4와 같다.

3. 시험 결과 및 고찰

동일한 중형 자동차로 시험을 수행하여 결과를 비교하였다. 그리고 KNCAP 이동대차와 AE-MDB 이동대차의 측면충돌 시 자동차와 인체에 미치는 영향에 중점을 두고 비교 연구하였다.

Table 5 Comparison of dummy injury data

신체 부위	측정항목 (상해기준값)	중형 자동차	
		KNCAP (평가점수)	AE-MDB (평가점수)
머리	머리, HIC36 (650-1000)	101 (4.00)	169 (4.00)
흉부	압축변위량 [mm](22-42)	14.4 (4.00)	23.4 (3.71)
	연성조작기준값 [m/s](0.32-1.0)	0.06 (4.00)	0.16 (4.00)
복부	내부하중값 [kN](1.0-2.5)	0.74 (4.00)	1.01 (3.97)
골반	유착하중값 [kN](3.0-6.0)	3.13 (3.83)	2.19 (4.00)
차체 가속도	B Pillar LH(g)	33.48	38.62
별 등급		★★★★★ (15.8)	★★★★★ (14.2)

3.1 상해치 비교 분석

인체 상해치와 평가점수, 별등급은 아래 Table 5에 국내 신차 안전도평가 프로그램의 상해치 평가방법을 기준으로 나타내었고, Fig. 5는 Table 5의 상해기준값의 최대값을 기준으로 하여 부위별 측정값을 백분율로 하여 그래프로 비교하였다.

위의 결과를 통해 측면충돌안전성에 있어서 안전도에 영향을 미치는 변수는 흉부 압축변위량과 복부 내부하중값, 골반 유착하중값임을 확인할 수 있다. 먼저 인체모형의 머리 상해치의 경우 AE-MDB의 머리 상해치

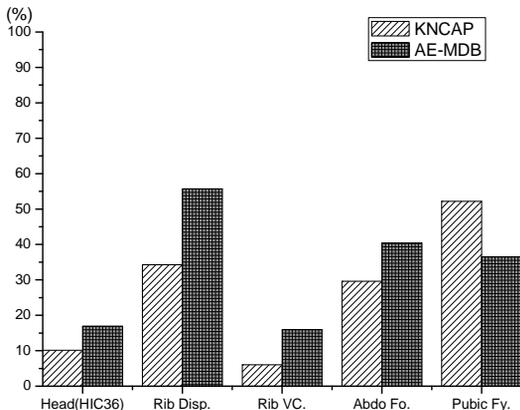


Fig. 5 Dummy injury points graph of KNCAP and AE-MDB

값이 KNCAP 측면 시험의 머리 상해치에 비하여 1.6배 만큼 높게 나타났다. AE-MDB의 머리 상해치를 상해 점수로 환산하면 AIS3 이상의 증상을 입을 가능성이 5% 이내로 나타난다. 따라서 AE-MDB를 이용한 측면 시험은 KNCAP 측면 시험보다 상해치가 다소 높게 측정되었지만 안전성이 확보됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 시험 자동차의 측면 에어백과 커튼 에어백이 측면 충돌 시 전개되어 머리를 보호하였다고 판단된다.

AE-MDB의 흉부 변위량은 상해등급 점수에서 4점 만점을 받지 못했다. 반면 KNCAP 측면 시험의 흉부 변위량에서는 4점 만점으로 나타났다. AE-MDB와 KNCAP 흉부 변위량은 흉부의 상, 중, 하 중에서 하 부위가 최고 변위를 보였다.

흉부 가속도의 경우 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었으며, AE-MDB 후반부에 최대값이 확인되었다. KNCAP 측면충돌 안전성평가에서 Side Airbag이 있을 경우, 16ms에서 순차적으로 흉부 가속도가 피크를 나타내고,

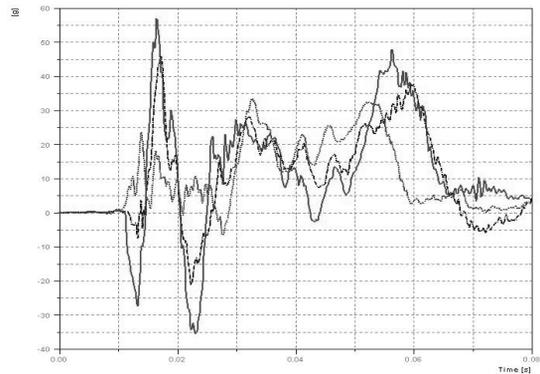


Fig. 6 Rib acc. of KNCAP

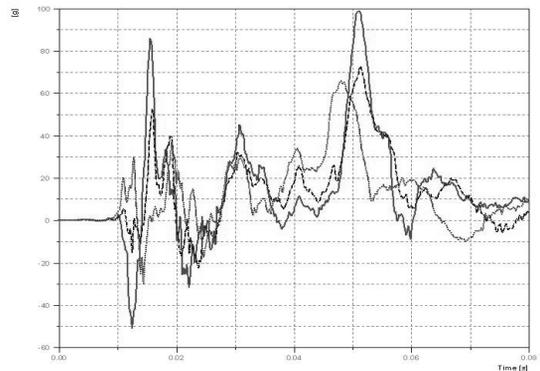


Fig. 7 Rib acc. of AE-MDB

2차로 50ms 근방에서 피크를 나타내는 양상을 보이는데 KNCAP Side 에서는 1차 시점에서 피크 최대값이 나타나고, AE-MDB에서는 2차 시점에서 최대값이 나타났다. 1차 시점에서는 최대값은 AE-MDB가 1.4배 정도 높게 나타났고, 2차 시점의 최대값은 KNCAP Side 대비 약 2.1배 정도 높게 나타낸 것을 확인할 수 있었다. 이는 AE-MDB의 중량증가 및 변형벽의 강성 증가에 의한 것으로 판단된다. 흉부 연성조직기준값의 경우 KNCAP에 비해 영향이 있었지만 그 영향 및 편차가 미미함을 보였다.

복부 상해치의 경우 KNCAP에서는 Rear, Middle, Front의 순으로 나타나며 AE-MDB의 경우 Rear, Front, Middle의 순으로 나타났다. 두 시험 모두 Rear 쪽에 Force가 많이 가해지는 결과를 보였으며 상대적으로 KNCAP의 Middle, Front 부분에서 Force가 크게 분산되었지만 Rear의 경우 40~50ms사이에서 AE-MDB와 비슷한 양상을 보였다.

골반 상해치 결과는 AE-MDB에 비해 KNCAP이 0.84 kN 높게 나타났다. 이는 KNCAP의 차체변형이 해당 높이에서 크게 나타나며 충격을 받았기 때문으로 판단된다. 차체 가속도의 경우 KNCAP대비 AE-MDB에서 5g 높게 측정 되었다. 이는 정지되어있는 시험 자동차에 가해지는 충격량을 나타내는 것으로, KNCAP 대비 AE-MDB의 운동에너지가 약 58% 상승 되었다. AE-MDB의 하니콕이 커지고 충돌지점이 뒤로 이동하면서 차체강성부위가 충격되며 차량이 이동하므로 상대적으로 B필라 하부 가속도 값의 차이가 크지 않은 것으로 판단된다.

3.2 차체 변형량

차체 변형량은 Table 6과 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13에 나타내었다. 이는 시험 시 인체모형

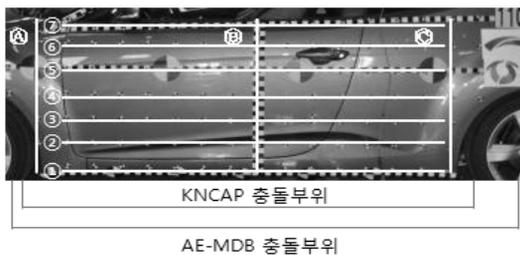


Fig. 8 Measuring points of the test car

Table 6 Comparison of maximum body deformation of Y direction

(단위 : mm)	KNCAP 최대변형값	AE-MDB 최대변형값	Difference
1 번	26.5	50.3	-23.8
2 번	270.4	218.9	51.5
3 번	252.0	222.9	29.1
4 번	213.2	230.9	-17.7
5 번	201.7	198.3	3.4
6 번	135.8	159.9	-24.1
7 번	73.9	91.6	-17.7
A	20.1	135.5	-115.4
B	246.1	207.5	38.6
C	74.0	184.7	-110.7

의 착석기준점(H-Point)을 기준으로 125mm간격으로 측정하였으며, 좌 1000mm, 우 875mm, 상 500mm, 하 250mm까지 측정한 것으로 Fig. 6와 같다.

Table 6에 나타낸 각 측정부위별 최대 변형값에서 Y축방향으로 A영역에서 KNCAP보다 AE-MDB가 115.4mm 더 변형되어 최대변형을 보였다. 2번 라인에서는 AE-MDB보다 KNCAP에서 51.5mm 더 변형된 것을 확인할 수 있으며, 이는 인체모형의 착석기준점(H-Point)주변으로 KNCAP에서 더 많은 변형이 일어났다.

Fig. 7과 Fig. 8은 측정 영역을 Y축방향으로 나타내어 상단에서 내려 본 모습이다. Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11은 X축에 수직한 단면상에 Y축방향으로 나타난 변형량을 X축에서 바라본 모습으로 Fig. 6의 선A, B, C 영역을 그래프로 나타낸 것이다.

차체 변형량 그래프는 시험 자동차의 변형된 형상을 125mm 간격으로 측정된 점의 위치를 선으로 연결

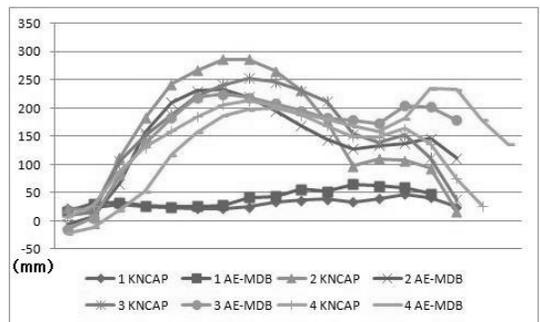


Fig. 9 X relative to the measurement line(1)

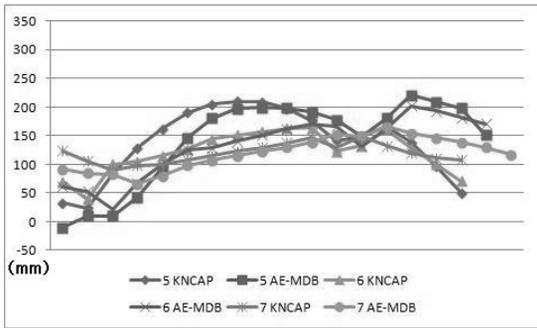


Fig. 10 X relative to the measurement line(2)

하여 나타낸 것이다.

Fig. 9과 Fig. 10의 그래프에서는 2번부터 6번까지 인체모형의 착석위치와 Real Wheel 주변에서 많은 변형을 일으키며 비슷한 모습의 곡선을 보였다. 2번 라인 은 착석위치보다 125mm 낮은 위치로 KNCAP에서 더 많은 변형이 착석위치 주변에서 나타났다. 3번은 착석기준점 높이로 2번과 동일부분에서 최대변형이 나타났으며, 4번의 경우 KNCAP에서는 착석위치 주변으로 많은 변형이 가해졌지만 AE-MDB에서는 Fig. 13과 같이 Real Wheel주변에서 많은 변형을 일으켰으며 5번과 6번 라인 또한 AE-MDB 시험에서 Real Wheel 주변으로 많은 변형량을 보였다. 이는 기존의 하니콤에 비해 10mm 넓어졌기 때문에 나타나는 결과로 생각되며, Front Wheel주변에서 AE-MDB가 KNCAP과 달리 완만한 경사가 그려진 것은 하니콤의 45° 꺾이는 형상 때문으로 생각된다.

Fig. 11 X축에 수직한 단면상에 Y축방향 그래프 선 A에서는 KNCAP의 변형량은 착석기준점 높이까지만 미미한 영향을 보였고, AE-MDB에서는 착석기준점 높이 이후부터 급격한 변형을 보였다. Fig. 12의 선B에서는 KNCAP 측면 시험에서 더 큰 변형을 보였고, Fig. 13의 선C에서는 AE-MDB가 측정부위 전체에서 KNCAP보다 많은 변형을 보였다. 이는 하니콤의 너비와 강성의 차이로 보이며, 하니콤의 충돌부위인 A, D 블록은 기존 하니콤 대비 많은 강성의 변화가 있으며 특히 D블록의 경우 기존 대비하여 50%정도의 강성이 증가한 것으로 보고되고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 새롭게 제시된 측면충돌시험용 대차

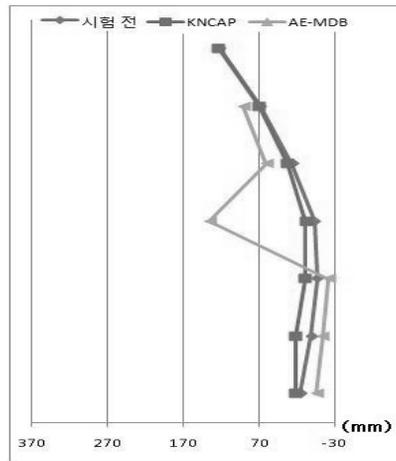


Fig. 11 Y relative to A line

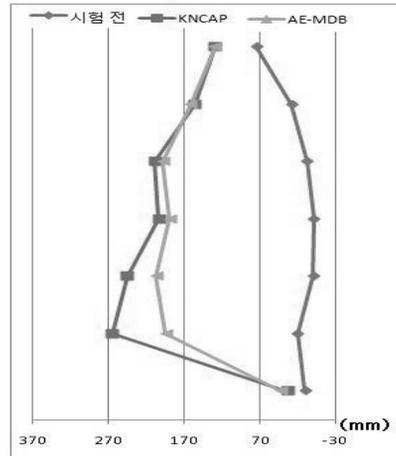


Fig. 12 Y relative to B line

인 AE-MDB를 신차안전도 평가 제도조사로 현재 양산 자동차를 이용하여 국내 신차안전도평가 측면 시험결과와 비교하여 인체모형 상해치, 상해점수 및 안전도, 차체 변형량을 살펴보았다. AE-MDB의 대차 무게는 변형벽(Honeycomb)을 포함해서 1,500kg으로 KNCAP 측면충돌 안전성 평가에 사용되는 대차 대비 550kg이 증가되었고, 결과적으로 충돌 시 운동에너지가 약 1.58배 증가되었다. 또한, 변형벽의 지면에서의 높이는 350mm로 기존 이동벽 대비 높아진 것을 확인할 수 있었으며, 이는 90°로 직각 측면충돌 시 상대 자동차에 더욱 가혹한 조건임을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

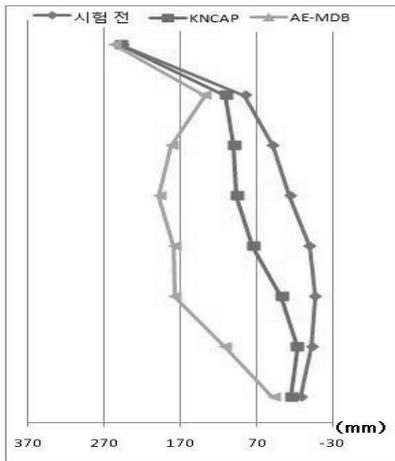


Fig. 13 Y relative to C line

1) 시험 자동차에 착석시킨 인체모형의 상해치는 AE-MDB 측면시험에서 KNCAP에 비해 높게 측정되었다. 흉부 압축변위량[mm], 복부의 Force[kN], 골반의 유착하중값[kN]이 측면충돌 안전성 상해점수에 영향을 미치는 주요 변수로 나타났으며, 골반 유착하중값의 경우 AE-MDB보다 KNCAP에서 높게 측정되었다. 머리의 경우 측면에어백과 커튼에어백에 의해 잘 보호되어 상해치를 상해점수로 환산 시 차이가 없었다. 따라서 인체상해의 경우 상해 기준값을 100%로 하였을 때, 흉부 압축변위량에서 21.4%로 가장 큰 차이를 나타냄을 확인할 수 있었다.

2) 차체 가속도의 경우 KNCAP 측면시험에 비해 AE-MDB에서 1.2배 높게 나타났다. 본 시험에서 AE-MDB의 경우 하니콧이 커지고 충돌지점이 뒤로 이동하면서 C필라와 Rear Wheel부 차체강성부위가 충격되며 차량이 이동하게 되어 상대적으로 B필라 하부 가속도 값의 차이가 크지 않은 것으로 판단된다.

3) 차체 변형량은 하니콧의 크기차이에 의해 Front·Rear Wheel부 차체강성부위에서 가장 큰 차이값을 보였다. EuroSID II 인체모형의 골반 주변에 해당하는 부위를 제외한 대부분의 측정 위치에서 AE-MDB의 변형량이 더 큰 값으로 측정되었다. 이는 AE-MDB의 너비가 넓어지고, Impact Point 위치가 후방으로 이동됨에 따른 것으로 판단된다.

4) 시험결과 측면충돌 안전성평가 상해점수는 15.8

에서 14.2로 약 10 % 감소하는데 그쳤으며, 그 결과 별등급에 있어서 모두 별 5개로 큰 경향차이를 보이지 않았다.

5) 위와 같은 결과는 측면충돌 시험시 AE-MDB 이 동벽 하니콧과 시험 자동차 측면부 접촉면이 시험 자동차의 강성부위인 C-필라 및 Rear-Wheel 부위에 걸쳐 접촉하면서, 충돌시 충돌에너지가 차체의 변형으로 흡수되기 보다는 시험 자동차의 반동, 후방 밀림 등으로 상쇄되어 나타난 결과로 보여진다. 따라서 A-Pillar에서 C-Pillar 까지 거리가 긴 중형, 대형승용차의 경우는 AE-MDB 측면충돌 시험시 다른 양상을 보일 것으로 판단되며, 이는 향후 추가적인 연구가 필요한 부분으로 사료된다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 2011년 신차 안전도평가 제도·정책 연구의 일부로 수행되었다.

참고문헌

- (1) 경찰청, 2011, “2011년판 교통사고통계”, koroad
- (2) 한국자동차공업협회 통계자료, “등록통계”, http://www.kama.or.kr/RS/RS_main.jsp, kama
- (3) James Ellway, William Donaldson, Mervyn Edwards, Ton Versmissen, Marian Bosch Rekveldt, 2006, “Development and Evaluation of the Advanced European Mobile Deformable Barrier(AE-MDB) Test Procedure,” APROSYS Project
- (4) Eun-ji Jang, Joseph Kim, Hyen-kyun Beom, 2009, “Study of comparison AE-MDB with EuroNCAP Side Test,” Annual Conference Proceedings, KSAE
- (5) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MLTM), 2010, Automobile Management Act
- (6) H. J. Chang, J. H. Song, J. S. Suk, S. Y. Lee, G. H. Kim, I. S. Kwon, 2004. “Consideration for the vehicle side impact test results of NCAP,” Spring Conference Proceedings, KSAE
- (7) Ton Versmissen, Eva Palacios, Mario Normblea,

- 2009, "Evaluation of the use of the WorldSID dummy in the AE-MDB test," APROSYS Project
- (8) James Ellway, William Donaldson, Mervyn Edwards, Ton Versmissen, Marian Bosch
- Rekveldt, 2006, "Development and Evaluation of the Advanced European Mobile Deformable Barrier(AE-MDB) Test Procedure," APROSYS Project