

모의 측면 충돌 시험 기법 개발 및 응용

최 현 진*

GM대우자동차기술(주) 기술연구소

A Study of Development and Application for Side Impact Sled Test

Hyunjin Choi*

Safety and Development Test Team, Technical Center, GM DAEWOO Auto & Technology Company,

199 Cheongcheon-dong, Bupyeong-gu, Incheon 403-714, Korea

(Received 19 June 2003 / Accepted 24 December 2003)

Abstract : Occupant protection in the side impact of a vehicle becomes one of the most important issues today. So, to reduce development time and cost, it needs test equipment which conducts an accurate simulation of the side impact crash. This paper describes a new test method for side impact, which utilizes a standard 12inch-HYGE-type sled facility. If a side impact sled test can simulate vehicle intrusion very well, it will contribute to develop full-scale side impact crash performance. The newly developed sled test method enables simulation for dummy motion, injury, door velocity, trim crack, and vehicle structure to be accurate. And, also this sled test method can be applied to the development of side air-bag.

Key words : Side impact sled test(모의 측면 충돌 시험), Euro SID(유럽 측면 인체 모형), Rib deflection(갈비뼈 변형량), Front door rear middle acceleration/velocity(앞문 뒤쪽 중간 가속도/속도), Sled carriage(대차)

Nomenclature

M : mass, kg

V : velocity, km/h

g : acceleration of gravity (m/s^2)

μ : friction coefficient

1. 서론

현재 측면 충돌 시 승객 보호 성능의 개발은 정면 충돌 시 승객 보호 성능만큼 매우 중요하게 인식되고 있다. 특히, ECE R95¹⁾의 경우에는 법규 기준이 매우 까다롭고, 2003년 1월부터는 국내 법규(안전기

준 102조 1항)에도 적용이 되어지고 있기에 그 중요성은 매우 크다고 할 수 있다. 그러나 측면 충돌 실험의 경우 많은 비용과 시간이 들기 때문에 이를 대처할 수 있는 모의 측면 충돌 시험이 필요하다. 따라서 기존 장비인 12inch-HYGE-type²⁾으로 모의 측면 충돌 시험 기법을 개발하게 되었다.

측면 충돌의 경우는 정면 충돌과 달리 차량의 침입으로 인해 차량 내 부품이 승객에게 상해를 줄 수 있는 요인이 많다. 충돌 시 감속 운동만 하는 정면 충돌과는 달리 측면 충돌은 승객과 침입해 들어오는 차량과의 간격이 좁으므로 충돌 중 차량과 승객과의 동적 상호 작용에 의해 door(문)와 B-pillar(중간기둥)³⁾은 아주 짧은 시간에 변형아가면서 감속과 가속의 운동을 하게 되므로 모의 충돌 시험에서 측면 충돌 시험을 재현하기가 매우 어렵다. 정면 충돌

*To whom correspondence should be addressed.
Hyunjin Choi@gmdat.com

시험의 경우는 실차 시험한 차량의 왼쪽, 오른쪽 중간 기동 가속도의 평균값을 낸 가속도 파형을 이용하여 sled carriage acceleration curve(대차 가속도 곡선)생성하면 되지만 측면 충돌 시험의 경우는 다른 방법을 생각해야 한다.

일반적으로 12inch-HYGE-type 장비는 정면충돌 실차 시험을 모의 시험하기에 적합하고 대차 가속도 파형은 sinusoid curve(사인 곡선)를 나타내며 가속 운동만 한다. 대차 가속도를 처음 가속 구간부터 가속에서 감속으로 바뀌는 구간까지 적분하면 속도가 증가하는 운동만이 일어나므로 정면 충돌 실차 시험을 correlation(보정)하기에 적합하나 측면 충돌 시험과 같은 경우에는 가속 운동만 하는 12inch-HYGE-type 장비를 가지고 보정하기 어렵다. 위에 언급한 바와 같이 측면 충돌의 경우 문과 중간 기동에서 감속과 가속의 운동을 번갈아 가면서 하는데 특히, 앞문 뒤쪽 가속도는 이러한 현상이 가장 두드러지게 나타난다. 앞문 가속도 곡선을 적분하여 보면 크게 속도의 증감이 일반적으로 1~2회 일어남을 볼 수가 있다. 이러한 문제로 인하여 12inch-HYGE-type 장비로 보정하기 위해서는 이를 해결해 줄 수 있는 기계 장치와 적절한 correlation factor(보정 인자)를 필요로 한다.

국내 및 유럽의 측면 충돌 시험의 평가 항목에서 갈비뼈 변형량이 중요한 평가 항목이기 때문에 이를 맞추는 것이 모의 측면 충돌 시험에서는 매우 중요하다. 따라서 보정 인자로는 vehicle intrusion(차량 변형)이 가장 중요한데, 이는 실차 시험에서와 같이 차량 변형이 일어난다면 앞문 속도와 Euro SID rib deflection(유럽 인체 모형 갈비뼈 변형량)이 모의 시험에서 실차 시험에서와 같이 유사하게 일어날 수 있기 때문이다. 차량 변형이 재현된다면 좀더 정확하게 앞문 속도 및 갈비뼈 변형량을 재현할 뿐만 아니라, 나아가 차체 구조 및 side air-bag(측면 에어백) 개발을 할 수가 있다.

2. 시험 장비 및 System 원리

Sled carriage(대차)위에 올라가는 모의 측면 충돌 시험 장비는 guide rail, slider, honeycomb, stopper 등이 있다. vehicle의 body는 모의 측면 충돌 시에 필요

한 부분만을 절단하여 사용하고 실차 조건의 재현을 위해 body의 보강이 필요한 부분은 형강으로 보강을 한다. A-pillar(앞 기둥)부터 C-pillar(뒤 기둥)은 모두 유지한 상태에서 절단하며, 문은 유리까지 끼워진 완전 장착 조건이어야 한다.

12inch-HYGE-type에 의해 대차가 발사되면 body와 honeycomb은 충돌하게 되고 이로 인하여 body의 변형이 발생되며 대차상의 감속 장치에 의해 감속되어질 때 관성 하중에 의하여 guide rail상의 slider는 뒤로 밀려나가게 된다. 이때 slider가 이탈하는 것을 방지하기 위하여 대차위에 stopper를 달아놓아 충격을 흡수하게 한다. Fig. 1은 전체적인 모의 측면 충돌 시험 장치를 나타낸다.

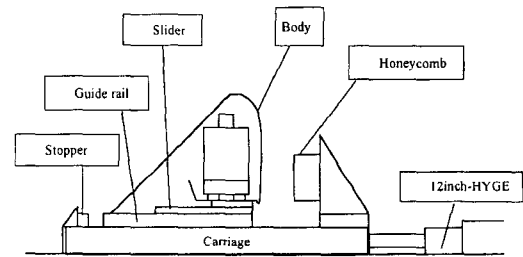


Fig. 1 Sled carriage system and side impact test jig

3. 모의 측면 충돌시험 방법 (Side Impact Sled Test Method)

3.1 실차 측면 충돌시험과 모의 측면 충돌 시험의 보정 인자

실차 측면 충돌 시험과 유사한 시험 결과를 모의 측면 충돌 시험에서 재현하기 위해서 아래의 실차 시험 보정 인자에 대하여 많은 주의를 기울여야 한다. 우선, 실차 측면 충돌 시험의 결과에 따라 차량의 변형이 된 형상을 보고 body의 보강이 이루어져야 할 부분을 판단한다. 모의 측면 충돌 시험에서 차량의 변형이 일어나기 때문에 이것은 매우 중요하다. 다음으로, 유럽 측면 인체 모형 갈비뼈 변형량이 실차 측면 충돌 시험과 유사하게 나타나기 위해서는 trim류와 유럽 측면 인체 모형이 접촉하는 위치 및 깨지는 형상을 실차 시험 결과와 유사하게 나타낸다. 또한, 실차 시험과 같이 모의 시험에서도 앞문 뒤쪽을 수직 방향으로 3등분하여 가속 센서를 장착

하고 앞문 뒤쪽 가속도 곡선 형상 및 앞문 뒤쪽 속도 곡선의 초기 최고값을 실차 시험과 비교한다. 마지막으로 유럽 측면 인체 모형 갈비뼈 변형량의 upper, middle, lower(위쪽, 중간, 아래쪽)의 상해치를 실차 시험과 비교한다. 위에서 차례로 언급한 항목들은 실차 측면 충돌 시험과 모의 측면 충돌 시험의 중요 보정 인자이며 이를 바탕으로 하여 모의 시험을 시행한다.

3.2 모의 측면 충돌 시험 방법

유럽 측면 충돌 시험은 50kph~51kph사이의 속도를 가진 MDB(Moving Deformable Barrier)가 고정된 차량에 충돌한다. 따라서 모의 측면 충돌 시험에서도 이에 상당하는 물리적 충격량을 재현하는 것이 필요한데 이것은 sled carriage system에 의해서 얻을 수 있다. 대차는 가속되어지다가 일정한 속도에 도달하면 감속 운동을 한다. 즉, 대차의 가속이 끝나는 시점에 대차의 속도가 최고가 되며, 이 이후로는 어느 정도 일정한 속도를 유지한다. 이것은 매우 중요한 변수이다. 대차의 속도를 너무 빨리 하거나 너무 늦게 한다면 body와 honeycomb이 충돌되어야 하는 시점을 놓치게 되고 이로 인해 실차 측면 충돌 시험을 재현을 하지 못하게 되기 때문이다.

Fig. 2는 대차의 가속도, 속도, 거리에 대해서 나타낸 것이다. Fig. 2 (b)를 보면 속도가 증가하다가 일정하면서 조금씩 감소하는 부분이 있다. 바로 이 지점이 body와 honeycomb이 충돌되는 시점이다. 위의 대차 가속도가 음의 부호를 나타내기 전까지를 적분하고 이를 다시 적분하면 대차 위의 body와 honeycomb사이의 거리를 알 수가 있게 된다. 이것은 대차에 acceleration sensor(가속 센서)를 장착하여 구할 수가 있다.

위에서 언급한 바와 같이 실차 측면 충돌 시험과 동일하게 재현하기 위한 대차의 속도를 구하려면 운동량을 이용하여 구할 수가 있다. 즉, 실차 시험에서 충돌 시 일어나는 운동량과 모의 시험에서의 운동량이 같다는 가정을 하는 것이다. 이것을 이용하면 대차의 속도를 구할 수가 있다. 실차 측면 충돌 시험에서의 운동량을 구하려면 MDB의 무게와 속도 알아야 한다. 그리고 sled carriage system의 총무

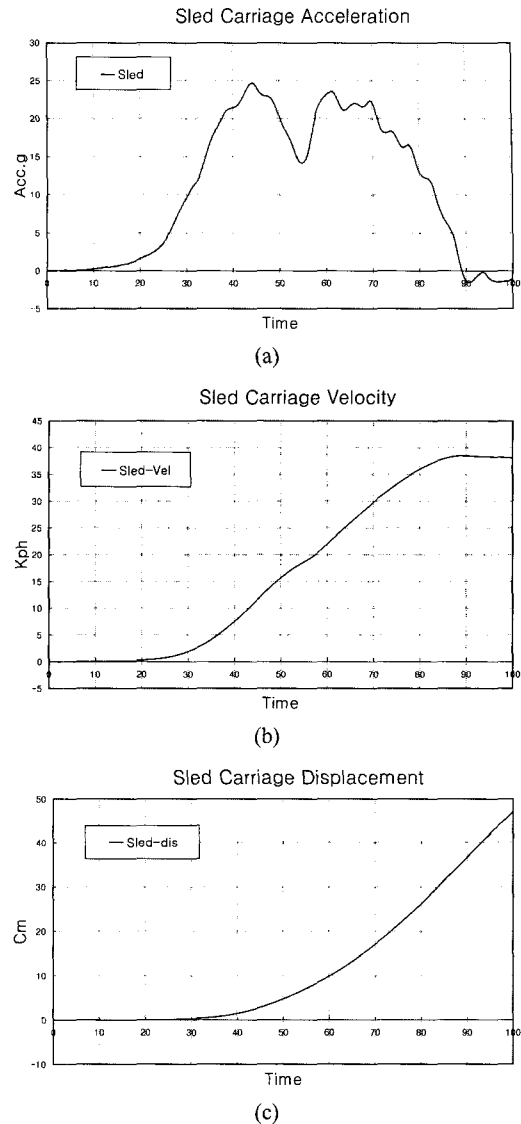


Fig. 2 Sled carriage acceleration, velocity, displacement

계를 알면 식 (1)에 의하여 대차의 속도를 구할 수가 있다.

$$M_1 V_2 - M_2 V_2 = 0 \tag{1}$$

- M_1 = Crash MDB weight
- V_1 = Crash MDB velocity
- M_2 = Sled carriage total weight
- V_2 = Sled carriage velocity

where M : Mass (kg)
V : Velocity (km/h)

위의 식 (1)을 이용하면 대차의 속도를 구할 수가 있다. (단, 위의 식을 사용하기 위해서는 외부로부터 작용하는 마찰력은 무시한다.)

그러나 guide rail 상에 존재하는 body 및 인체 모형 무게는 plate와 같이 sliding 되어 시험에 큰 영향을 주지 못하므로 대차의 속도를 계산할 때 제외하여도 무방하다.

이상 언급한 내용은 12inch-HYGE-type 장비의 특성을 고려하여 실차 측면 충돌 시험과의 보정에 대해서 언급을 한 것이고, 그 나머지 시험 절차는 실차 시험과 동일한 시험 절차로 시행한다. 특히, 유럽 측면 인체 모형 착석 측정 및 honeycomb과 body의 충돌 지점, honeycomb의 높이는 실차 측면 충돌 시험과 동일한 조건이 되도록 한다.

4. 모의 측면 충돌 시험 결과 (Side Impact Sled Test Result)

4.1 앞문 뒤쪽 가속도 / 속도 (Front Door Rear Acceleration/Velocity)

첫째로, 실차 측면 충돌 시험과 비교하여 보면 앞문 뒤쪽 가속도의 곡선 형상은 Fig. 3과 같은 결과가 나타났다.

앞문 뒤쪽 가속도를 비교하여 보면 실차 시험에서 일어나는 현상과 같은 감, 가속의 현상이 모의 시험의 앞문 뒤쪽 가속도 곡선에서도 유사하게 재현되었다. 실차 시험과 모의 시험의 앞문 뒤쪽 가속도 곡선이 유사한 형상을 나타낸다면 그것은 차량 변형이 실차 시험과 비슷하게 일어났다는 것을 나타내며 이것은 유럽 측면 인체 모형의 갈비뼈 변형량을 실차 시험과 유사하게 모의 시험에서 재현하는데 있어서 매우 중요한 결과이다.

다음으로 Fig. 4를 보면 front door rear middle velocity(앞문 뒤쪽 중간 속도)의 증, 감 현상을 확연하게 볼 수가 있다. 앞문 속도에서도 앞문 뒤쪽 중간 속도에서 다른 곳보다도 두드러지게 속도가 증가하고 감속하는 것을 볼 수가 있다. 이것은 실차 측면 충돌 시험에서 앞문 뒤쪽을 수직 방향으로 3등분(upper, middle, lower)하여 속도를 비교하면 특히 소형차에서 일반적으로 앞문 뒤쪽 중간 속도의 초기 최고 값이 가장 높게 나타난다.⁵⁾ 따라서 Fig. 4에서

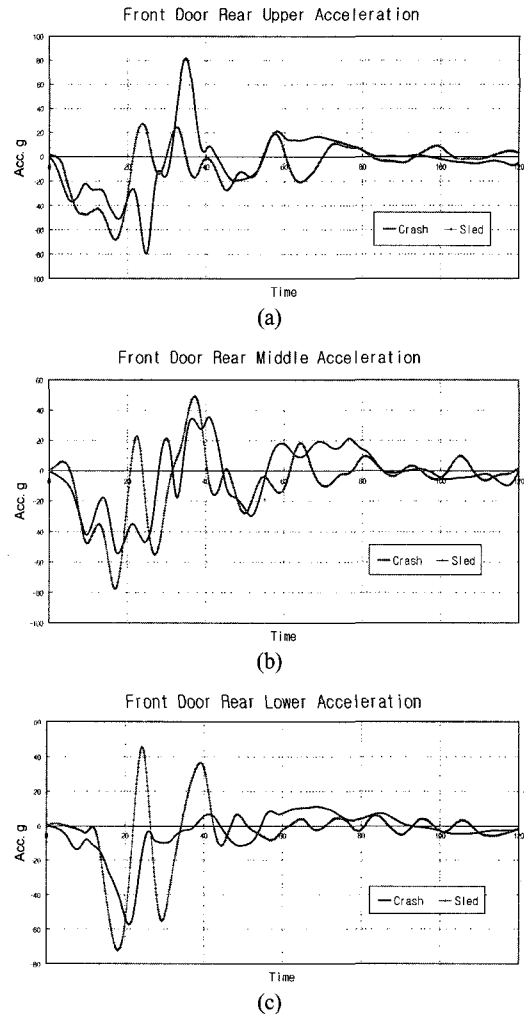


Fig. 3 Crash/sled front door acceleration compared

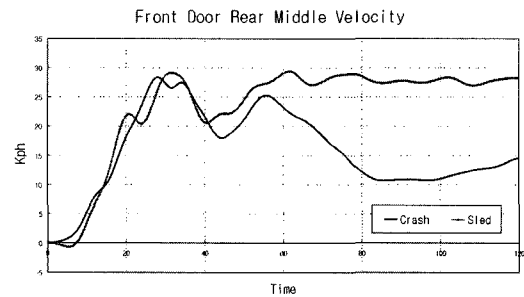


Fig. 4 Crash/sled front door rear middle velocity

와 같이 실차 시험의 앞문 뒤쪽 중간 속도와 모의 시험의 앞문 뒤쪽 중간 속도를 따로 비교하여 보았다.

위의 앞문 뒤쪽 중간 속도를 비교하여 본다면 초기 최고값은 거의 같은 것을 볼 수가 있으며 감소되어지는 시간도 유사하다. 또한 두 번째 최고값으로 증가하는 부분까지는 매우 유사한 형상을 보이고 있다. 그러나 두 번째 최고값에서 감소하는 부분에서는 실차 시험의 앞문 뒤쪽 중간 속도는 감소하는 반면 모의 시험의 앞문 뒤쪽 중간 속도는 감소하지 않고 일정하게 유지되는 것을 볼 수가 있다. 실제적으로 유럽 측면 인체 모형 갈비뼈 변형량에 영향을 미치는 앞문 속도 부분은 초기 최고값에서 감소할 때부터 두 번째 최고값으로 도달되어지는 부분이다. 따라서 모의 측면 충돌 시험을 할 경우에는 이것을 무시하여도 시험에 영향을 주지 않는다. 위에서 언급한 것처럼 갈비뼈 변형량에 영향을 미치는 속도의 구간은 실차 측면 충돌 시험 결과에서 볼 수 있는 일반적인 경향이다. Fig. 5는 모의 측면 충돌 시험의 결과를 토대로 평균적인 수치를 계산한 앞문 뒤쪽 중간 속도와 갈비뼈 변형량 사이의 상관 관계를 비교하여 본 것이다.

앞문 뒤쪽 중간 속도에서 두 번째 최고값 이후부터는 실차 시험과 모의 시험 사이에 상이한 차이를 보인다. 모의 시험은 Fig. 4에서와 같이 일정하게 속도가 유지되지만 실차 시험은 속도가 감소한다.

우선 이러한 현상이 생기는 것에 대해서 먼저 생각해 보면 실차 측면 충돌의 경우에는 vehicle weight(실차 무게)로 인한 μN , 즉 μmg (수직항력)과 바퀴의 마찰력을 무시 할 수 없다. 모의 측면 시험에서는 sled carriage system의 특성상 위의 두 가지 사실을 시험에 큰 영향을 주지 않으므로 무시하였지만 이점을 고려해야 한다. 실제로 모의 측면 시험에

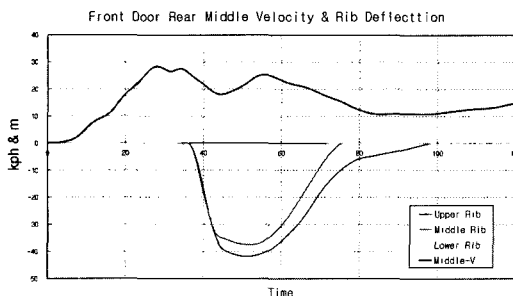


Fig. 5 Rib deflection & front door middle velocity compared

서는 plate에 장착된 body는 honeycomb과 충돌한 후 대차의 감속에 의한 관성 하중으로 인하여 honeycomb과 떨어져 반대 방향으로 guide rail 위를 운동하여 나아가고 이때에는 아주 작은 마찰력만이 있고 실차에서와 같이 시험에 영향을 주는 마찰력은 존재하지 않는다.

대차 위에서는 실차 측면 시험에서의 이러한 마찰력들을 재현할 수가 없기에 이를 재현해 줄 수 있는 기계 장치가 필요하다. 따라서, 위와 같은 마찰력을 모의 충돌 시험에서 재현시키기 위해서는 대차위의 guide rail상에 plate를 멈출 수 있는 외적인 힘이 필요하다. 일반적으로 공압식 모의 측면 충돌 시험 장비에는 plate에 외적인 힘을 가하여 멈추게 할 수 있는 멈춤 장치를 장착하고 시험한다. 이것은 공압식 모의 충돌 시험 장비의 특성마다 조금씩 다르다.

4.2 유럽 측면 인체 모형 갈비뼈 변형량 (Euro SID Rib Deflection)

실차 시험과 같이 차량 변형이 유사하게 일어나고 앞문 뒤쪽 중간 속도 곡선이 유사한 형상을 나타낸다면 유럽 측면 인체 모형 갈비뼈 변형량은 실차 시험의 결과와 비슷하게 모의 시험에서도 나타난다. Fig. 6은 갈비뼈 변형량에 대한 실차 시험과 모의 시험 결과에 대해 비교하였다. 시험 결과는 upper, middle, lower 갈비뼈 변형량의 순서로 나타내었다.

이러한 시험 결과의 도출은 위에 언급하였던 실차 측면 충돌 시험과 모의 측면 충돌 시험과의 보정 조건을 바탕으로 시험을 수행한 것이며 차량 변형 및 앞문 속도, 유럽 측면 인체 모형의 거동, trim류의 깨짐 형상 및 접촉하는 위치 등, 모두 실차 시험과 유사하기 때문이다. 특히, 실차 시험과 같이 유사한 차량 변형을 재현하는 것이 시험 결과에 많은 영향을 주었다.

5. 결론

모의 충돌 시험은 실차 충돌 시험을 재현하여 개발 기간 및 비용을 줄이는 것이 목적이다. 실차 시험을 제대로 재현하지 못한다면 그만큼 시험의 정확성과 일관성, 대외적인 신뢰성이 떨어지게 되므로

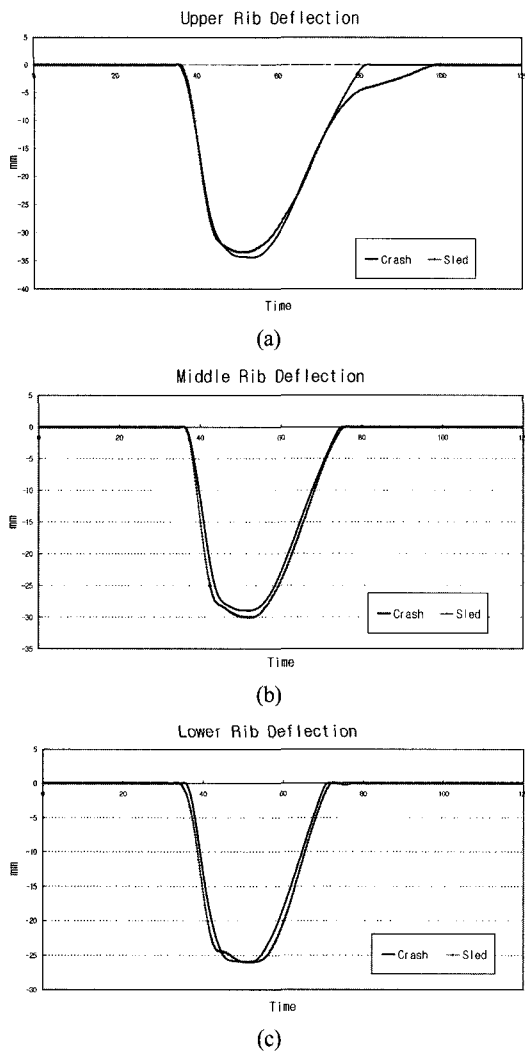


Fig. 6 Crash/sled rib deflection compared

이러한 점을 감안 할 때 실차 시험과의 보정은 매우 중요하다.

실차 측면 충돌 시험을 재현한다는 것은 어렵다. 특히 실차 시험과 동일하게 차량 변형 현상을 나타내는 것은 매우 어렵다. 그러나 위에서 제시한 모의 측면 충돌 시험 방법론은 실차 측면 충돌 시험의 재현을 가능하게 한다. 실차 시험과 같이 차체의 변형을 일으켜 앞문 가속도와 속도를 재현하고, trim류의 깨짐 현상과 유럽 측면 인체 모형이 trim류와 접촉하는 위치를 유사하게 맞추면 모의 시험에서 갈비뼈 변형량의 상해치와 곡선 형상은 실차 시험과 유사하다. 이러한 결과는 모의 시험에서 실차 시험

과 같은 차량의 변형을 재현하고 여러 시험 변수들을 보정한 결과이며 자사의 모의 충돌 시험 장비의 특성을 고려한 것이다. 따라서, 모의 측면 시험에서는 실차 측면 시험 했던 차종의 시험 과정 및 결과를 받아 위에 언급한 방법으로 모의 시험을 수행한다.

또한, 위에 제시한 모의 측면 충돌 시험 방법론을 이용하여 측면 에어백 개발 시험에도 적용이 가능하다. 모의 측면 충돌 시험 방법과 동일한 시험 과정을 수행하고 측면 에어백을 장착한 후 측면 에어백의 전개되는 시간을 맞추어 주면 측면 에어백 성능 개선 및 SIS(Side Impact Sensor)개발 시험에도 응용할 수 있다. 이때 측면 에어백의 팽창 압력으로 인하여 유럽 측면 인체 모형이 body밖으로 떨어질 수 있으므로 유럽 측면 인체 모형을 보호할 수 있는 장치를 대차 위에 장착한다.

모의 측면 충돌 시험의 방법 개발로 인하여 실차 측면 충돌 시험에 대한 개발 기간이 단축될 뿐만 아니라 비용의 절감 및 여러 가지 효과를 동시에 볼 수 있다. 이러한 시험 방법을 응용하면 FMVSS 214 (복미 측면 충돌 시험)도 가능하다. 정확하고 일관성 있는 모의 충돌 시험이 되도록 많은 노력과 시간을 투자 한다면 보다 많은 시험에 응용 및 적용이 될 수 있다.

References

- 1) United Nations, Agreement United Nations, Concerning the Adoption of Uniform Conditions of Approval and Reciprocal Recognition of Approval for Motor Vehicle Equipment and Parts, Regulation No.95, July 6, 1995.
- 2) J. K. Chung, J. M. Cavanaugh, M. Mason Jr., A. I. King, Wayne State Univ., "Development of a Sled-to-Sled Subsystem Side Impact Test Methodology," Safety Testing Technology, SP-1264, SAE 970569, pp.9-16, February 1997.
- 3) Y. H. Ha, "Development of Side Impact Crash Simulation Methodology and Its Applications," Transactions of KSAE, pp.101-109, 2000.
- 4) D. J. Stein, MORTON International, "Apparatus and Method for Side Impact Testing," Safety Testing Technology, SP-1264, SAE 970572, pp.25-31, February 1997.

- 5) Bernadette Allan-Stubbs, The Motor Industry Research Association, "The Effect of Changes in Seating Position and Door Velocity Time History on Side Impact Dummy Response," Airbag Technology, SP-1333, SAE 980911, February 1998.
- 6) J. R. Hopton, A. R. Payne, MIRA, "Comparison study of EuroSID, USSID, BioSID Performance using MIRA's New M-SIS Side Impact Simulation Technique," Technologies for Occupant Protection Assessment, SP-1174, SAE 960103, pp.53-59, February 1996.