

기동측면충돌시험법에서 WorldSID와 ES-2re 더미 안전성에 대한 해석적 연구

윤영한* · 한완희** · 최문영** · 이은덕*** · 김대업***

Simulation Analysis for Comparison of WorldSID and ES-2re Dummy in Pole Side Impact Test Methods

Y. H Youn*, W. Han**, M. Choi**, E. Lee***, D. Kim***

Key Words : Injury(상해), Pole Side Impact(기동측면충돌), WorldSID(국제 측면충돌더미), ES-2re Dummy(유럽 측면충돌더미)

ABSTRACT

In Korea, side impact type accidents are one of the main cause of fatality. MLTM and KATRI established side impact regulation as well as NCAP type assessments to protect occupants. Recently, WP29 formed a informal group to study a possible harmonization of pole side impact test methods with WorldSID as a GTR. In this paper, two different dummies, ES-2 and WorldSID were evaluated with three different types of pole side impact test methods.

1. 서론

우리나라의 측면충돌사고는 사고건수, 사상자의 측면 우리나라 교통사고중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 이러한 사고시 승객보호를 보호하기 위해 제정된 측면충돌안전기준은 1995년 7월 제정된 과거의 유럽기준인 ECE R95 (현재는 UN R95로 규정됨)와 동일한 기준을 사용하며, 시험에 사용되는 인체모형 역시 ES(EuroSID)-1을 사용하고 있다. 하지만 현재 우리나라의 측면충돌 승객보호기준은 2008.12.08.에 개정된 자동차안전기준시행세칙에 따라 ES-1 또는 ES-2 인체모형을 제작사 선택에 따라 사용할 수 있게 하였으며, 안전도평가제도인 KNCAP에서는 2008.04.22.에 개정된 자동차안전도평가시험 등에 관한 규정에 따라

서 ES-2 인체 모형을 사용하도록 하고 있다¹⁾.

이러한 신차안전도평가제도로 인해 최근 제작된 자동차의 측면충돌시 승객보호의 성능은 크게 개선되어 대부분의 시험차량은 별5개를 획득할 정도로 안전도가 향상되었다고 본다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 실제로로상에서 측면충돌로 인해 발생하는 사망사고의 감소에는 큰 영향을 미치고 있지 않는 것 또한 현실이다. 측면충돌사고시 치명적인 상해의 주요 요인은 머리, 가슴 부상인데 기존의 측면충돌시험법에서 평가되는 머리상해는 대부분의 자동차에서 거의 만점의 평가를 받고 있는 실정이다. 이는 유럽등 선진국에서도 사상자 감소 및 머리상해치에서도 같은 경향을 보이고 있다. 이에 유럽은 머리 등을 보호할 목적으로 기동측면충돌시험법을 EuroNCAP에 적용하였고, 미국 등은 실제로 전복 등으로 인한 사상자가 증가하여 기동측면충돌시험법을 법규와 USNCAP에 적용하고 있다.

2009년 WP29는 국제기준조화의 측면에서 측면충돌에서

* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

** 한국기술교육대학교 대학원 메카트로닉스공학과

*** 교통안전공단 자동차안전연구원

E-mail : yhyoun@kut.ac.kr

사용하는 인체모형에 대해 WorldSID 50th percentile 과 5th percentile의 개발에 합의하고 미국의 주도하에 WorldSID에 대한 비공식 그룹을 결성하여 현재까지 연구를 진행해 오고 있다. 이는 2000년 초 미국이 기존의 USSID 더미를 폐기하는 EuroSID를 채택하며 일시적으로는 ES-2를 개선한 ES-2re 요구하였고 IHRA를 국제적으로 통일적인 측면충돌더미인 WorldSID의 개발로 더미에 대한 국제조화를 추진하고 있다. 측면충돌시험법의 국제통일기준화에 대한 의견이 유럽과 미국이 첨예하여 아직 미국을 제외한 나라에서는 안전기준으로 채택되지 않고 단지 NCAP에서만 적용되고 있는 기동측면충돌시험법에 대하여 WorldSID를 사용한 GTR 제정에 합의하고 WP29에서 전문가회의체를 구성하여 통일된 시험법에 대한 논의가 진행 중이다. 우리나라의 경우 2004년 12월에 WP29의 1958 협정에 가입한 회원국으로 국내 자동차 안전기준을 국제조화하기 위한 연구를 꾸준히 수행하고 있다. 측면충돌 분야에서도 이와 같이 국제기준의 조화 움직임에 대해 한국의 참여 활동은 한국의 연구내용이 국제 기준조화에 반영될 수 있도록 하기위한 노력이며, 이러한 국제적 활동을 통해 얻어지는 측면충돌 시험 및 법규 동향에 대한 정보는 국제조화의 타당성 여부를 검토하는데 중요하다.

본 연구에서는 기동측면충돌 시 사용하는 인체모형인 ES-2와 국제조화에 사용되어지는 WorldSID의 특성 분석을 해석 모델을 이용하여 비교하여 보았다. 그리고 ES-2에서 WorldSID로 기준 개정 시 인체모형 변화에 따른 상해의 영향도 평가를 기동측면충돌시험법에 따라 컴퓨터 해석을 통해 비교해 보았다. 또한 현존하는 기동충돌시험법과 신규로 제안된 시험법에서 기동측면 충돌시 차체변형의 특성 또한 해석을 통하여 비교 분석하였다.

2. 기동측면충돌사고 통계현황

최근 3년간(05년~07년) 일어난 공작물 충돌사고 중 승용자동차를 대상으로 기동형태의 충돌로 일어난 사고를 경찰청의 자료를 정리하였다.

총 사고 건수와 사망자와 부상자를 분류하였으며 이 자료를 바탕으로 치사율을 Table1과 같이 계산하였다. 이중 기동형 공작물 사고 중 측면 충돌 사고는 총 227건으로 약 21% 비중으로 차지한다. 이는 공작물 사고 중 측면 사고의 비율이 낮지 않은 것으로 분석 된다.

Table 1 Traffic Accident Data -Pole side type

	전신주	가로수	가로등	표지	신호등	총계
사고수	516	338	221	132	82	1289
사망자	157	82	48	36	9	332
부상자	702	450	294	154	119	1719
치사율	30.4%	24.3%	21.7%	27.3%	11.0%	25.8%

또한 경찰청 내부자료 (05년~07년)에 보면 기동 측면 충돌사고로 인해 연간 약 28명이 사망하고 36명이 중상 이상의 부상 그리고 28명의 경상자가 발생하는 것을 알 수 있다. 충돌 사고 발생 시의 주요 상해 위치를 보면 기동 측면 충돌이 기동 정면충돌이나 차-대-차 측면 충돌사고와 비교했을 때보다 Fig. 1과 같이 약 5배 정도 높게 머리 부분 상해가 나타나는 것을 볼 수 있다. 같은 측면 충돌인 차-대-차 사고시의 부상 위치는 경부(목) 부분이 가장 높은 것과는 달리 기동 측면 충돌이 중상 이상의 사고로 이어질 확률이 높은 것이다.

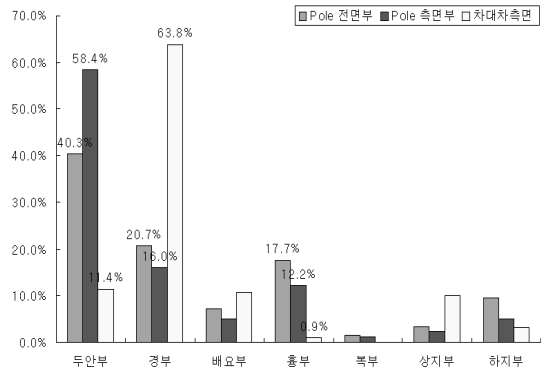


Fig. 1 Injury regions from pole type accidents

3. 측면충돌용 인체모형

측면충돌 인체모형은 ES-2re 모델과 WorldSID 50th percentile 모델이 있다. 이중 ES-2re 인체모형은 미국의 FMVSS 214를 포함한 한국 안전기준 102조, 유럽의 ECE R95 규정 및 일본을 포함한 전세계적으로 측면 충돌시험의 법규 및 NCAP시험에 사용하고 있는 인체모형이다. 또한 WorldSID 인체모형은 보다 인체 충실도(Biofidelity)를 높이기 위해 ISO를 비롯한 전세계가 공동연구로 개발된 인체모형으로 본 연구에서 ES-2re와 해석을 통해 비교 검토하여 국내의 측면충

돌 안전기준 및 KNCAP에 적용될 수 있는지에 대한 검토를 하며 이러한 결과를 근거로 WP29의 Informal group의 활동에 기여하고자 한다.

두 인체모형은 우선 외형의 크기부터가 차이가 남을 알 수 있다. Table 2는 두 인체모형의 사이즈를 나타낸다. WorldSID는 ES-2re보다 앉은키와 어깨 너비가 작은 반면 가슴과 골반의 너비와 크고 다리의 길이는 긴 특징을 보인다. Fig. 1은 두 인체모형의 앉은 자세 비교를 나타낸 그림으로 WorldSID가 상체가 작고 다리가 긴 것을 확인할 수 있다.

Table 2 Comparison of Anthropometry both ES-2re and WorldSID

Region	ES-2re (mm)	WorldSID (mm)
Shoulder width	485	480
Thorax width	357	371
Pelvis width	355	410
Sitting height	920	870
Leg Length	452	555

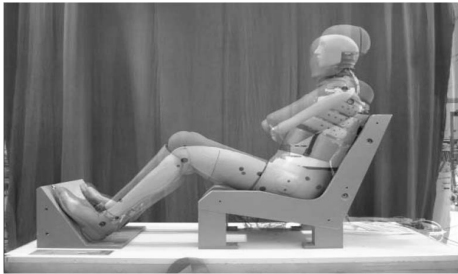


Fig. 2 WorldSID vs ES-2re in UMTRI Seating

해석을 위해 사용된 해석용 측면충돌 인체모형은 TNO가 개발한 모델이며 승객거동해석으로 널리 알려진 MADYMO를 이용하여 해석을 수행하였다. 두 모델 모두 MADYMO의 요소 중 하나인 유한요소 파셋 (Facet)을 이용한 모델이다. Fig. 2와 Fig. 3은 해석용 측면충돌 모델들을 나타낸다.

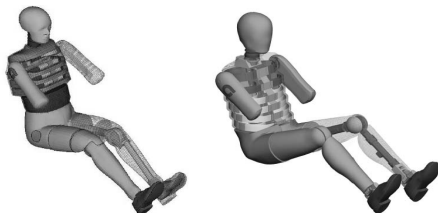


Fig. 3 Simulation Models of ES-2re(left) and WorldSID(Right)

4. 해석 모델 구성

기동 측면충돌에서 승객의 상해해석 모델을 구성하기 위해서 기동과 충돌하는 차량 모델이 필요하며 차량이 기동과 충돌 후 차체의 측면 변형-시간 데이터와 차체의 가속도를 MADYMO 프로그램에 입력데이터로 적용하여 두 인체모형을 이용한 승객거동 해석을 수행하게 된다.

해석용 차량 모델은 미국 NHTSA의 차량 모델 데이터베이스에서 중형승용차를 선택하여 이를 기동측면충돌에 맞도록 모델 구성을 하였다. 해석 프로그램으로는 LS-Dyna를 이용하여 해석을 수행하였다.

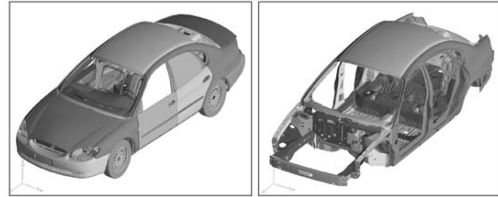


Fig. 4 Vehicle Model for Side Pole Simulation

최근 WP29 기동 측면충돌 시험법의 GTR에 관한 비공식 그룹에서 논의되는 측면기동 시험법은 크게 세 가지 종류로 분류되고 있어 이를 해석적인 방법으로 모델링하여 각각의 시험법에서 차체의 변형-시간 데이터와 가속도 특성을 추출하여 상해해석에 사용하였다. 해석 조건으로 사용한 충돌 조건 세 가지는 Euro NCAP의 기동 측면충돌 시험법과 동일한 방법, Euro NCAP 기동 측면충돌과 조건에서 기동의 위치를 전방 앞으로 100mm이동 시킨 방법 그리고 마지막으로 미국의 US NCAP의 75° 경사각 기동측면 시험 방법으로 해석을 수행하였다.

Table 4 Conditions for Simulation

Mode I	90 degree Pole Side Impact Test in EuroNCAP
Mode II	90 degree Pole Placed forward 100mm in EuroNCAP
Mode III	75 degree Oblique Pole Side Impact Test in USNCAP

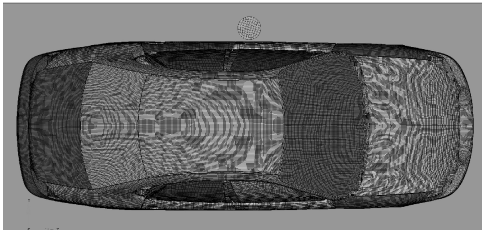


Fig. 5 Simulation Model of Normal Condition in -EuroNCAP

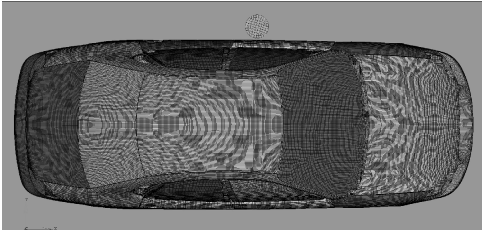


Fig. 6 Simulation Model of Forward 100mm Condition

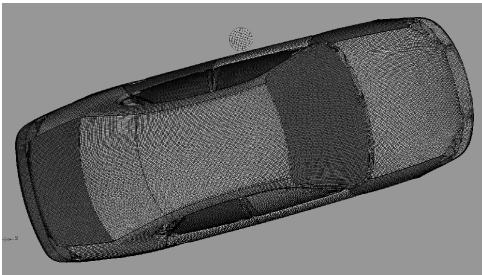


Fig. 7 Simulation Model of Oblique Condition -USNCAP

LS-Dyna로부터 얻은 측면 차체 변형 데이터와 전체 차량의 모델에서 인체모형과 접촉이 발생하는 측면 차체 부분만을 MADYMO 모델 변환하여 상해 해석을 위한 모델을 Fig. 8과 같이 구성하였다.

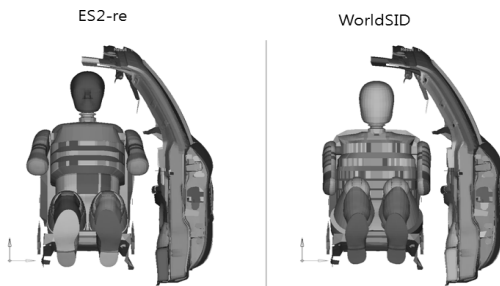


Fig. 8 Simulation Model for Occupant Injury

4. 해석 결과 분석

세 가지 조건의 기둥 측면충돌 해석을 통해 얻은 데이터를 기반으로 구성된 승객 상해해석 모델의 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Results of Injuries on both Dummies in Pole Side Impact Simulation

Dummy		ES-2re			WorldSID		
Condition		I	II	III	I	II	III
Head	Acc.	135.12	94.08	91.27	91.28	119.91	110.62
	HIC	1810.5	585.66	855.75	770.25	1047.0	1303.1
Shoulder Force (kN)	Y axis	3.62	4.03	4.69	4.75	3.88	4.62
RibDefl. (mm)	Upper	53.07	61.94	67.74	71.54	82.12	88.62
	Mid	52.94	46.86	51.66	85.02	90.42	100.46
	Lower	43.66	22.08	44.81	104.73	100.37	107.05
T12 Acc. (g)	Y axis	145.06	251.52	187.68	159.64	167.12	167.40
Pubic Force (kN)	Y axis	8.07	6.30	9.38	3.45	3.64	3.62
Pelvis Acc. (g)	Y axis	329.95	298.12	333.76	170.11	220.73	166.72

해석의 결과 ES-2re의 경우 HIC는 Euro NCAP 시험 모드인 조건 I에서 가장 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 기둥의 위치가 인체모형의 머리 무게중심에 위치하기 때문으로 판단된다. 그러나 갈비뼈의 변형, 어깨 하중, 치골 하중 및 골반 가속도의 값은 미국의 USNCAP 모드인 조건 III의 경사각 기둥측면충돌 조건에서 가장 크게 나타난다. 즉 전반적으로 HIC를 제외하면 32km/h의 75° 경사 기둥 측면충돌 시 상해가 가장 심각한 충돌 시험법임을 알 수 있다.

WorldSID의 경우에는 해석 조건 III인 USNCAP 시험 모드의 경사각 기둥측면 시험법에서 상해가 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 국외 여러 문헌에서 발표한 바와 같이 기둥의 위치가 머리의 무게중심 위치에서 전방으로 100mm 이동시킨 직각 기둥측면의 경우, 상해치는 미국 USNCAP의 경사각 충돌시험법과 유사하게 나타난다.

기둥 측면충돌시 차체 변형량 측정을 위해 측면 부분을 총 4등분 하였다. Fig. 9와 같이 Sill Line부터

250mm 씩 증가하여 최종 도어 Belt Line까지 각각의 Line 부분에서의 변형량을 해석하였고, X축은 CG 부분을 중심으로 Front direction of vehicle과 Back direction of vehicle로 나누어 해석 하였다. 측면 충돌 해석은 KNCAP의 90도 기동측면 시험법으로 충격 위치는 더미의 CG 위치이고 다른 한 가지는 KNCAP 시험법 중 충격 위치가 더미의 CG위치에서 100mm 전방이며, 마지막으로 US 75도 경사각 기동측면 시험으로 진행하였다.

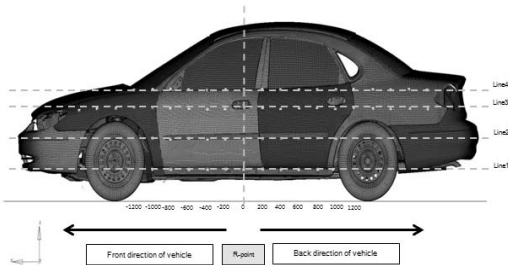


Fig. 9 Measurement of vehicle deformation

해석결과 Fig. 10과 같이 차체 변형량은 US 75도 기동측면 충돌이 변형이 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 KNCAP의 충돌 속도는 29km/h인 반면에 US 75도 측면 충돌은 32km/h로 속도 차이로 인한 변형량 차이로 보이며, B-pillar 변형 또한 Y축 벡터로만 충돌하는 KNCAP 측면 충돌보다 X축으로 벡터성분을 동시에 가지고 있어 변형이 크게 나타나는 것으로 판단된다.

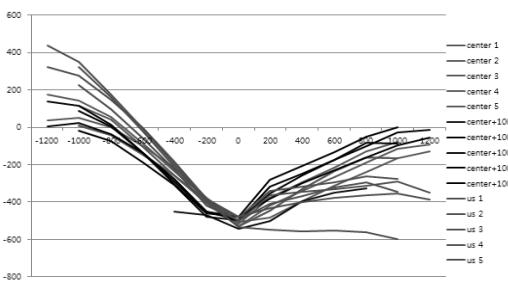


Fig. 10 Vehicle deformation contours

5. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 최근 국제적으로 논의되고 있는 기동 측면충돌 시험법의 세 가지 방법론에 대하여 이를 해석적

인 방법으로 모델링하여 각각의 시험법에서의 승객 상해 특성을 변화를 검토하였다.

- 2) 세 가지 기동 측면충돌 시험 모드에 대해서 WorldSID 모델의 경우, 미국의 USNCAP 시험 방법인 경사 충돌에서 상해치가 가장 높게 나타나는 경향이 있으며 ES-2re의 경우 HIC는 EuroNCAP 시험 모드인 직각 충돌에서 가장 높게 나타나고 그 외에는 미국의 USNCAP 경사 충돌에서 높게 나타난다.
- 3) 차체변형의 측면에서는 S 75도 경사각 기동 측면 충돌이 차체 변형량이 가장 크게 나타났으나 이는 충돌 속도가 KNCAP는 29km/h 인 반면에 US 기동 측면 충돌은 32km/h로 속도가 높기 때문이다. 하지만 가속도 값은 3가지 시험법 모두 큰 차이를 보이지는 않는다. 충돌 방향이 US 75도 경사각 기동 충돌과 직각 충돌이 상이하기 때문에 차체 길이 방향과 높이 방향의 B-Pillar에서 가속도는 서로 상이하지만, 차체의 횡방향의 가속도는 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다.

참고문헌

- (1) 이동준, 임재문, 홍윤석, 김규현, 2009, “신차안전도 평가(KNCAP) 측면충돌시험 결과 고찰” 한국자동차공학회 부분종합 학술대회, pp. 1085~1090
- (2) 한완희, 2007, “강건설계 기법을 이용한 측면충돌에서 복부상해 저감을 위한 도어트림의 최적설계 연구”, 한국기술교육대학교 석사학위논문
- (3) Yi Liu, Fuchun Zhu, Zhenwen Wang and Michiel van Ratingen, 2007, “SIDE IMPACT INJURY PREDICTION WITH FE SIMULATIONS OF THE NEW ADVANCED WORLD SID FE DUMMY MODELS”, ESV Conference, 07-0372
- (4) Risa Scherer, Klaus Bortenschlager, Akihiko Akiyama, Suzanne Tylko, Markus Hartlieb, Takeshi Harigae, 2009, “WORLDSID PRODUCTION DUMMY BIOMECHANICAL RESPONSES”, ESV Conference, 09-0505
- (5) Heather Rhule, Kevin Moorhouse, Bruce Donnelly, Jim Stricklin, 2009, “COMPARISON OF WORLDSID AND ES-2RE BIOFIDELITY USING AN UPDATED BIOFIDELITY RANKING SYSTEM”, ESV Conference, 09-0563