

진자시험을 통한 EuroSID2 및 WorldSID 더미의 상해 최적화 연구

최규상* · 정갑성** · 김경철** · 함병렬**

Injury Optimization Study of WorldSID and EuroSID2re under Pendulum Loadings

K.S. Choi*, K.S. Jeong**, K.C. Kim**, B.R. Ham**

Key Words : Eurosid2re(측면더미), Worldsid(신측면더미), Side impact(측면충돌), Pendulum(진자)

ABSTRACT

A new dummy has improved biofidelity from Fair to Good compare with EuroSID2re which is currently used for regulation tests and NCAP tests. Some instrumentation of each body region has been changed to measure the assessment of injury risk. The objective of this study is to find out the injury characteristic of each dummy and to calculate the relation between external force and injury for each dummy with pendulum tests. Finally, this study suggests the optimized external force to meet consumer tests.

A new dummy named WorldSID for side impact will be introduced into EuroNCAP tests after 2015. Korea government is also planning to adopt WorldSID at KNCAP tests from 2017 and Global Technical Regulation (GTR) will also adopt WorldSID to oblique side pole crash.

1. 서론

1997년 이후 측면 더미의 생체충실도 향상 및 측면 더미의 통합을 목적으로 전세계 10여개국이 참가하여 측면 충돌시험용 성인더미(WorldSID) 개발을 실시하였다.(1)

이에 신 측면더미는 2015년 이후 유럽 측면 신차안전도 평가(EuroNCAP) 시험에 도입될 예정이며, 국내에서는 2017년 이후 측면 신차안전도평가(Korea NCAP)에 적용될 예정이다. 또한 측면 경사폴 충돌 법규시험에 WorldSID를 시험더미로 채택 하는 것을 국제 충돌법규 협의체에서 (UN ECE GRSP)에서 안전으로 채택하여 논의 중에 있다. 따라서 측면 법규 및 상

품성 평가의 대응을 위해 WorldSID의 상해 특성 파악이 필요하다.

본 논문에서는 더미 부위별 진자 충격시험을 통해 WorldSID(이하 WSID)와 EuroSID2re(이하 ES2)에 외력을 가하고 이에 따른 상해를 계산하여 WSID와 ES2의 상해 반응특성을 비교 평가하려고 한다. 또한 더미의 외력-상해간 관계식을 수립하여 상품성 목표 만족을 위한 최적 외력 조건을 예측하여 차량 개발시 측면 충돌을 위한 기초연구 자료로 활용 할 예정이다.

2. 더미비교.

2.1 생체 충실도

ISO/TR 9790 생체충실도 평가 기준에 따르면 WorldSID는 7.6점(Good), 기존 ES2re는 4.6점(Fair)으로 1등급 향상 된 것을 알 수 있다.

* 현대자동차

** 현대자동차

E-mail : choiks7@hyundai.com

ISO/TR 9790생체 충실도 등급 및 점수와 각 부위별 생체 충실도는 다음 Table 1, Table 2에 나타내었다.

Table 1 생체충실도 등급 및 점수

| 등급 | 점수 |
|--------------|---------|
| Excellent | 8.6~10 |
| Good | 6.5~8.6 |
| Fair | 4.4~6.5 |
| Marginal | 2.6~4.4 |
| Unacceptable | 0~2.6 |

Table 2 부위별 생체충실도 비교

| | 머리 | 목 | 어깨 | 가슴 | 복부 | 골반 |
|--------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| WorldSID | 10.0 | 5.6 | 7.1 | 8.3 | 7.8 | 6.1 |
| EuroSID2(re) | 5.0 | 4.4 | 5.3 | 5.2 | 2.6 | 5.3 |

2.2 외관

WSID의 크기는 OECD 가입국의 신체 사이즈 및 체중을 고려하여 제작되었으며 동일 시트에 착좌시 두 더미의 사이즈 및 주요 포인트 차이는 다음과 같다.

Hip Pivot Point 높이는 상호 유사하나 골반 형상 차이에 의하여 WSID가 20mm 전방에 위치하고 있으며, 어깨중심은 ES2가 50mm 상방, 30mm 전방에 위치하고 있으며 머리 중심은 ES2re가 약80mm 상방에 위치하고 있다. 또한 지면과 이루는 갈비뼈의 각도는 ES2가 Torso대비 수직으로 되어있으나 WSID는 실제 사람의 조건을 반영하여 Torso 대비 약 21.5도 기울어져 있다.

2010년 Sebastian Stahlschmidt의 연구진의 WorldSID와 ES2비교 연구결과에 따르면 Fig. 1과 Fig. 2로부터 WorldSID와 ES2의 머리,어깨, H-Pivot Point 및 갈비뼈 위치의 주요 차이점을 확인 할 수 있다.(2)

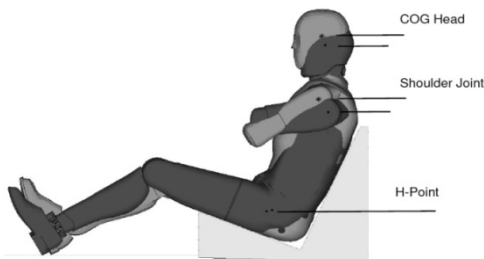


Fig. 1 ES2(녹색), WorldSID(적색) 외관비교

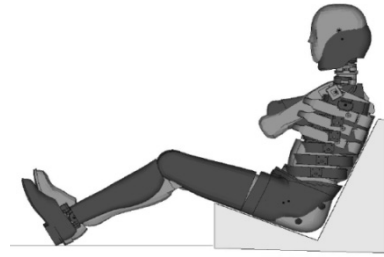


Fig. 2 ES2(녹색), WorldSID(적색) 외관비교 (자켓, 팔 제거시)

2.3 상해 계측

ES2대비 WSID의 상해를 측정하기 위한 주요 부위별 계측센서 종류와 방향은 다음 Table 3과 같다.(3)

Table 3 더미별 주요 계측센서 및 방향

| 부위 | ES2 | | WSID | |
|----|------|-------|-------|-------|
| | 센서종류 | 계측방향 | 센서종류 | 계측방향 |
| 머리 | 가속도계 | X,Y,Z | 가속도계 | X,Y,Z |
| | - | - | 각가속도계 | X,Y,Z |
| 어깨 | 로드셀 | X,Y,Z | 로드셀 | X,Y,Z |
| | - | - | 가속도계 | X,Y,Z |
| 가슴 | 변위계 | Y | 변위계 | X,Y |
| 복부 | 로드셀 | 전/중/후 | 변위계 | X,Y |
| 골반 | 로드셀 | Y | 로드셀 | Y |
| | 가속도계 | X,Y,Z | 가속도계 | X,Y,Z |

3. 시험조건

측면충돌시 대차 및 폴에 의한 외력은 더미로 전달되어 더미 부위별 상해로 나타나게 된다.(Fig. 3) 본 연구에서는 외력을 진자 충격으로 대체하여 외력-상해 상관관계를 도출하였다.

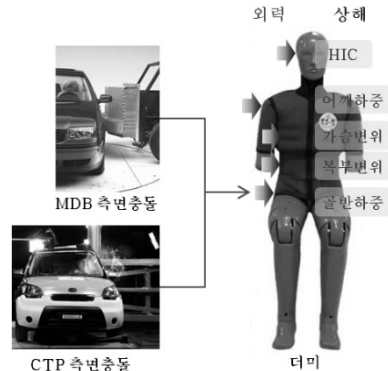


Fig. 3 측면충돌시 외력-상해 상관성

본 시험의 구성은 더미와 더미 교정시트, 더미에 외력을 가하기 위한 진자 그리고 상해계측용 센서와 진자외력 계측용 가속도계로 되어 있다. (Fig. 4)

본 연구의 목적인 외력과 더미상해와의 상관관계를 구하기 위해 진자의 높이를 각각 달리하여 더미 부위별로 각각 6~8회 실시하였다. 상해는 더미에 장착된 센서 계측값으로부터 구하였고 외력(F)은 진자에 부착된 가속도계를 이용하여 진자무게(m)에 가속도값(a)을 곱하여 구하였다. (F=ma)

각 시험별로 구한 상해, 외력값을 통해 추세선을 이용하여 상관관계 수식을 구하였다.

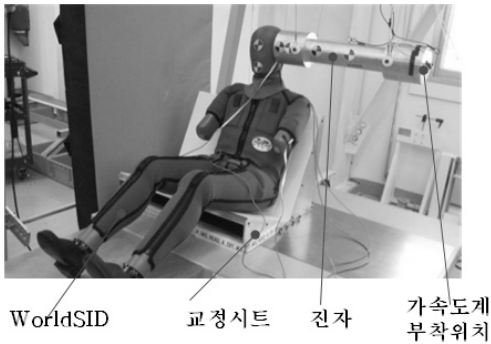


Fig. 4 외력-상해 상관관계 수립시험 셋업

4. 시험결과

4.1 머리

더미 머리상해와 외력과의 관계를 파악하기 위하여 각 더미별 진자의 충격속도를 달리하여 총 6회의 시험을 실시하였다. 각 시험에 대한 외력과 상해값은 Table 4, Fig. 5로 나타내었으며 더미별 머리상해(Y_{HIC})값과 외력(x)간의 관계식(식1-1, 식1-2)은 다음과 같이 2차의 상관관계가 있다.

Table 4 외력하중에 따른 머리상해 시험결과

| 더미 | 진자속도 [m/s] | 진자하중 [kN] | HIC 36 |
|------|------------|-----------|--------|
| ES2 | 1 | 1.6 | 14.5 |
| | 2 | 4.9 | 182.3 |
| | 3 | 9 | 689.4 |
| WSID | 1 | 1.9 | 22.2 |
| | 2 | 6.2 | 293.9 |
| | 3 | 9.4 | 828.1 |

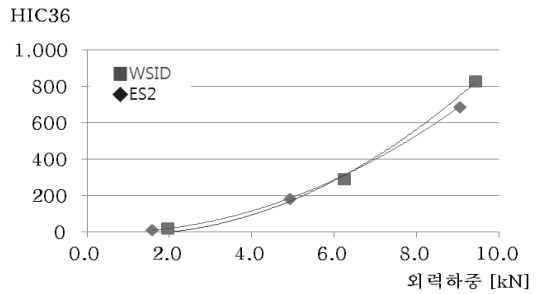


Fig. 5 외력-머리상해(HIC36) 그래프

$$Y_{WSID\ HIC} = 11.7x^2 - 23.2x \quad (1-1)$$

$$Y_{ES2\ HIC} = 9.3x^2 - 8x \quad (1-2)$$

외력이 6.3kN 보다 작을 때는 동일 외력에 대해서 ES2의 머리상해가 WSID보다 크게 증가하나 외력이 6.3kN보다 클 때에는 WSID의 머리상해가 ES2보다 더 크게 증가한다.

4.2 어깨

더미 어깨상해와 외력과의 관계를 파악하기 위하여 각 더미별 진자의 충격속도를 달리하여 총 8회의 시험을 실시하였다. 각 시험에 대한 외력과 상해는 Table 5와 Fig. 6, Fig. 7에 나타내었으며 더미별 어깨하중(y_{FR})과 외력(x)은 1차의 상관관계(식2-1, 식2-2)가 있음을 알 수 있다. WSID는 어깨에 하중뿐 아니라 변위도 계측이 가능하며 어깨변위(y_D)와 외력(x)의 관계식은 2차의 상관관계(식2-3)가 있다.

Table 5 외력하중에 따른 어깨상해 시험결과

| 더미 | 진자속도 [m/s] | 진자하중 [kN] | 어깨하중 [kN] | 어깨변위 [mm] |
|------|------------|-----------|-----------|-----------|
| ES2 | 3 | 1.2 | 1.2 | |
| | 4 | 2.1 | 2 | |
| | 5 | 2.6 | 2.3 | |
| | 6 | 3.4 | 3 | |
| WSID | 3 | 1.9 | 1.3 | 25.4 |
| | 4 | 2.4 | 1.5 | 36.1 |
| | 5 | 2.9 | 1.6 | 47.0 |
| | 6 | 3.4 | 1.9 | 62.2 |

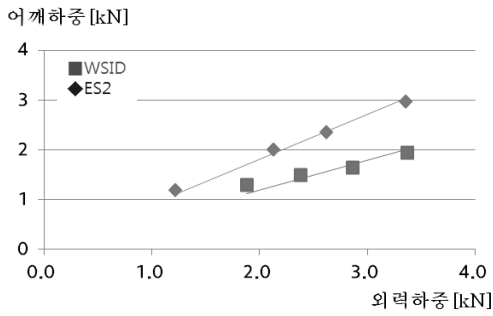


Fig. 6 외력-어깨상해(하중) 그래프

$$y_{WSID F_R} = 0.6x \quad (1-1)$$

$$y_{ES2 F_R} = 0.9x \quad (1-2)$$

여기서 $F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$

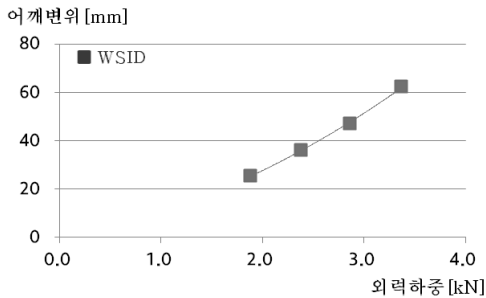


Fig. 7 외력-어깨상해(변위) 그래프

$$y_{WSID D} = 3.3x^2 + 7.2x \quad (2-3)$$

식3-1, 식3-2의 기울기를 비교해 볼 때 동일외력에 대해서 ES2 더미가 WSID보다 1.5배 큰 상해가 발생함을 알 수 있다.

4.3 가슴

더미 가슴상해와 외력과의 관계를 파악하기 위하여 각 더미별 진자의 충격속도를 달리하여 총 8회의 시험을 실시하였다. 시험간 진자가 가슴 충격시 팔에 의한 간섭을 배제하고자 시험시 팔의 위치는 진자충격의 간섭이 발생하지 않는 상방위치로 하였다.

각 시험에 대한 외력과 상해는 Table 6, Fig. 8에 나타내었으며 더미별 가슴상해(y_D)와 외력(x)간의 관

계식(식3-1, 식3-2)은 아래와 같이 2차의 상관관계가 있다.

Table 6 외력하중에 따른 가슴상해 시험결과

| 더미 | 진자 속도 [m/s] | 진자 하중 [kN] | 가슴변위 [mm] |
|------|-------------|------------|-----------|
| ES2 | 3 | 2.8 | 22.8 |
| | 4 | 4.5 | 30.1 |
| | 5 | 7.1 | 36.9 |
| | 6 | 10.7 | 43.9 |
| WSID | 3 | 2.7 | 28.5 |
| | 4 | 3.4 | 35.6 |
| | 5 | 3.9 | 45.8 |
| | 6 | 4.5 | 55.1 |

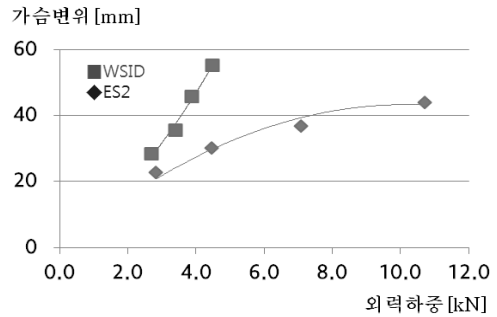


Fig. 8 외력-가슴상해(변위) 그래프

$$y_{WSID D} = 1.16x^2 + 7.1x \quad (3-1)$$

$$y_{ES2 D} = -0.42x^2 + 8.5x \quad (3-2)$$

식3-1, 식3-2 및 Fig. 8의 그래프 비교시 WSID는 ES2대비 작은 외력에도 가슴상해가 크게 증가함을 알 수 있다.

4.4 복부

더미 복부상해와 외력과의 관계를 파악하기 위하여 각 더미별 진자의 충격속도를 달리하여 총 8회의 시험을 실시하였다. WSID의 복부상해는 하중을 측정하는 ES2와는 달리 변위를 측정하여 계산하는 방법으로 변경 되었다. 각 시험에 대한 외력과 상해는 Table 7과 Fig. 9, Fig. 10에 나타내었으며 더미별 복부상해(y_D, y_{F_R})와 외력(x)간의 관계식은 식4-1, 식4-2와 같으며 WSID 변위는 외력과 2차, ES2 복부 하중은 1차

의 상관관계가 있다.

Table 7 외력하중에 따른 복부상해 시험결과

| 더미 | 진자속도 [m/s] | 진자하중 [kN] | 복부하중 [kN] | 복부변위 [mm] |
|------|------------|-----------|-----------|-----------|
| ES2 | 3 | 3 | 1.6 | |
| | 4 | 5 | 2.7 | |
| | 5 | 7.6 | 4 | |
| | 6 | 10.6 | 5.7 | |
| WSID | 3 | 2.3 | | 22.9 |
| | 4 | 2.9 | | 35.2 |
| | 5 | 3.5 | | 47.2 |
| | 6 | 4.3 | | 59.6 |

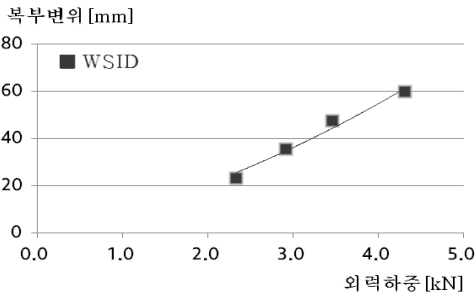


Fig. 9 외력-복부상해(변위) 그래프

$$y_{WSID D} = 1.6x^2 + 7.1x \quad (4-1)$$

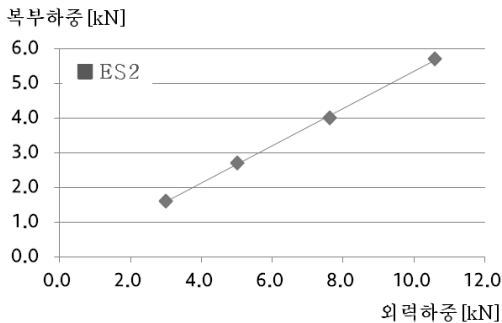


Fig. 10 외력-복부상해(하중) 그래프

$$y_{ES2 F_R} = 0.53x \quad (4-2)$$

여기서 $F_R = F_{FRT} + F_{MID} + F_{REAR}$

4.5 골반

더미 골반상해와 외력과의 관계를 파악하기 위하여 각 더미별 진자의 충격속도를 달리하여 총 8회의 시험을 실시하였다. 각 시험에 대한 외력과 상해는 Table 8과 Fig. 11, Fig. 12에 나타내었으며 더미별 골반상해 (y_{F_y})와 외력(x)간의 관계식(식5-1, 식5-2)은 1차의 상관관계가 있다.

Table 8 외력하중에 따른 골반상해 시험결과

| 더미 | 진자속도 [m/s] | 진자하중 [kN] | 골반가속도 [g] | 골반하중 [kN] |
|------|------------|-----------|-----------|-----------|
| ES2 | 3 | 3.2 | 19.3 | 0.6 |
| | 4 | 4.3 | 27.9 | 1 |
| | 5 | 5.9 | 31.4 | 1.5 |
| | 6 | 8 | 41.3 | 2.1 |
| WSID | 3 | 2.8 | 14.9 | 0.5 |
| | 4 | 3.8 | 21.1 | 0.7 |
| | 5 | 4.9 | 26.9 | 0.9 |
| | 6 | 6.1 | 33.5 | 1.1 |

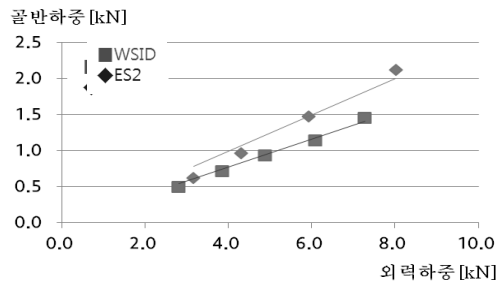


Fig. 11 외력-골반상해(하중) 그래프

$$y_{WSID F_y} = 0.19x \quad (5-1)$$

$$y_{ES2 F_y} = 0.25x \quad (5-2)$$

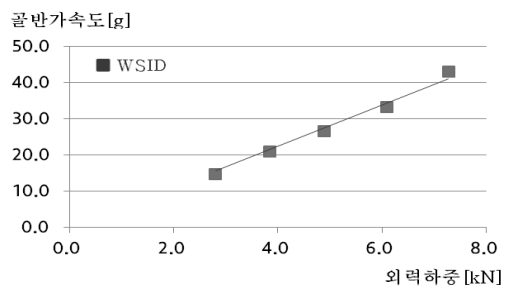


Fig. 12 외력-골반상해(가속도) 그래프

$$Y_{WSID A_R} = 5.6x \quad (5-1)$$

$$\text{여기서 } A_R = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$$

식5-1, 식5-2의 기울기를 비교해 볼 때 동일외력에 대해서 ES2 더미가 WSID보다 약 1.3배 큰 상해가 발생함을 알 수 있다.

5. 최적 외력조건

위 진자 시험의 결과를 통해 얻어진 각 부위별 외력하중과 상해와의 관계식으로부터 더미의 상해를 알면 외력하중을 알 수 있고 반대로 외력하중을 알면 상해를 알 수 있다.

다음 Table 9, Fig. 13은 외력하중-상해 관계식을 이용하여 북미 측면NCAP 5★ 달성을 위한 ES2, WSID의 부위별 허용 외력을 나타낸 예 이다.(4)~(6) 단 WSID의 경우 아직 상품성 시험 평가를 위한 상해 기준이 정해지지 않았으므로 현재 GRSP에서 논의되고 있는 범규상해의 50% 수준 달성시 상품성 시험 최고등급을 획득한다고 가정 하였다. Table 9로부터 동일 시험조건일 경우 상품성 최고등급을 달성하기 위한 허용 외력은 더미 부위별로 +47.4% ~ -13%의 차이가 발생함을 알 수 있다.

Table 9 외력하중에 따른 가슴상해 시험결과

| 상해 부위 | 목표 상해값 | | 허용 외력(kN) | | 외력 비교(%) |
|-------|-------------|-------------|-----------|------|----------|
| | ES2 | WSID | ES2 | WSID | |
| 머리 | 350 | 350 | 6.6 | 6.0 | -9.1 |
| 어깨 | - | 1.5kN | - | 2.5 | - |
| 가슴 | 22mm | 27.5mm | 3 | 2.7 | -10.0 |
| 복부 | 1kN | 32.5mm | 1.9 | 2.8 | 47.4 |
| 골반 | 2.5kN | 1.7kN | 10 | 8.7 | -13.0 |
| 비고 | 북미측면 NCAP5★ | 범규 50% (예상) | | | |

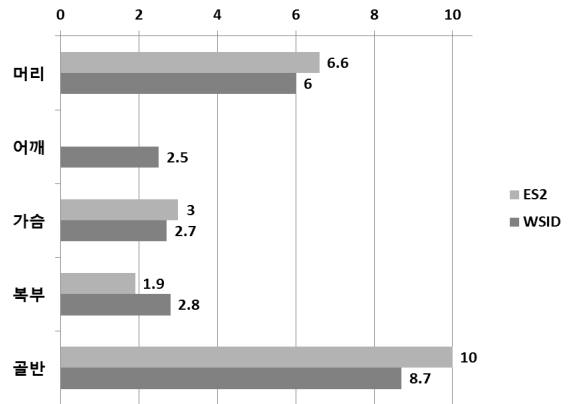


Fig. 13 부위별 목표상해-허용외력 그래프

6. 결론

2015년 이후 측면시험시 도입될 WorldSID와 기존 EuroSID2re를 비교하기 위해 더미 부위별 진자 충격 시험을 통해 더미 부위별로 각각 외력과 상해의 상관관계식을 도출하였으며 더미 부위별로 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

- 1) 머리 상해는 외력과 2차식의 상관관계가 있으며 외력이 6.3kN이상일 경우 WSID의 머리상해가 ES2의 머리상해보다 더 크게 증가한다.
- 2) 어깨 하중은 동일 외력이 가해질 때 ES2의 상해가 WSID보다 1.5배 크게 나타난다.
- 3) 가슴 변위는 3kN의 동일 외력 기준으로 WSID는 31.7mm, ES2는 22mm가 발생하여 WSID가 외력에 대한 상해 민감도가 크다고 할 수 있다. 외력이 커질수록 이 민감도는 더 커진다.
- 4) 골반 하중은 동일 외력이 가해질 때 ES2의 상해가 WSID보다 1.3배 크게 나타난다.
- 5) 외력-상해 상관관계식으로부터 상품성 최고등급 획득을 위해서는 복부를 제외하고 WSID에 가해지는 외력이 ES2에 가해지는 외력보다 9~13% 작아야 한다.

참고문헌

- (1) “Road vehicles-Design and performance specifications for the WorldSID 50th percentile male side impact dummy”, International Standard

- ISO-15830-1, 1st edition, 2005
- (2) Sebastian Stahlschmidt, Alexander Gromer, Matthias Walz “WorldSID 50th vs. ES-2. A comparison based on simulations”, LS-DYNA forum, 2010.
- (3) HUMANETICS, “WorldSID product catalog”, www.humaneticsatd.com, 2013.
- (4) Australia, “Draft Proposal for a Global Technical Regulation on Pole Side Impact”, Informal document GRSP-51-16, 2012.
- (5) Australia, “Draft Global Technical Regulation on Pole Side Impact”, Informal document GRSP-52-07, 2012.
- (6) National Highway Traffic Safety Administration, “Consumer Information; New Car Assessment Program”, Docket No. NHTSA-2006-26555, 2008.