

# WorldSID를 이용한 기둥측면 충돌 슬레드 시험 개발 방법 연구

오형준\* · 김승기\* · 임경호\*

A study on development of the pole side impact sled test using WorldSID

Hyungjoon Oh\*, Seungki Kim\*, Kyungho Lim\*

Key Words : Pole side impact crash(극부 충돌), Sled test(대차 시험), WorldSID(월드시드)

## ABSTRACT

The pole side crash caused fatal injury by comparison with other crash impact mode such as frontal and rear crash. EuroNCAP proposed the pole side crash test using WorldSID(World Side Impact Dummy). The objective of this study is to develop the pole side impact sled test using dummy rib deflection between crash and sled test. In the pursuit of this purpose, we fabricated new pole side sled buck and test preliminary pole sled using ES-2re. Through this, we found the sled acceleration pulse scale. Hardness and thickness of the EPP affects the rib deflection. We conducted the pole sled test using WorldSID based on the preliminary results. As a result, rib deflection was shown to correlate well between crash test and pole side sled test.

## 1. 서론

측면충돌사고는 정면충돌사고와 달리 충돌에너지 흡수 할 수 있는 공간이 부족하다. 이로 인하여 사고 발생 시 사고 대상이 탑승자에게 직접적인 타격을 가하게 되며, 이로 인하여 다른 형태의 충돌 사고보다 중상(fatal injury)을 입을 확률이 높다. NASS&BMW 데이터를 분석한 A.McNeill(2005)의 연구<sup>1)</sup>에 따르면 전체 사고의 30%, 중상자의 약 35%가 측면충돌사고에서 발생하였다. 2012년 경찰청 통계자료<sup>2)</sup>를 살펴보면 국내 전체 교통사고 사망환자 중 측면직각 충돌 사망자가 약 14.4%를 차지하고, 부상자는 전체 교통사고 부상자의 32.6%를 차지한다. 정면충돌 사망자 수가

6.1%, 부상자수가 4%인 것을 고려하면 측면 충돌 안전성 향상은 무엇보다도 우선적 해결과제임이 분명하다. 차량 충돌안전성 향상을 위하여 여러 나라에서 범규 및 신차충돌안전평가(New Car Assessment Program)를 통하여 측면 충돌 시험 및 안전성 평가를 하고 있다. 우리나라는 55kph 90도 측면충돌시험, 29kph 기둥 측면충돌시험을 실시하며, 미국의 경우 62kph 63도 측면충돌시험, 32kph 75도 측면충돌시험을 실시한다. 유럽의 경우 50kph 90도 측면 충돌시험, 29kph 기둥측면충돌 시험을 실시하고 있다. 측면충돌 시험에 사용되는 인체모형더미 또한 충돌안전성 향상에 맞춰 1997년부터 국제표준화 기구(ISO/TC22/SC12/WG6)를 통하여 생체충실도(biofidelity)가 향상된 더미가 개발되었다<sup>3)</sup>. 향후 각국에서 WorldSID를 사용한 측면충돌시험 적용여부를 검토 중 이며, 빠르게는 2015년부터 EuroNCAP에서 EuroSID II를 사용하는 기존 측면

\* 한국지엠자동차

E-mail : hyungjoon.oh@gm.com

충돌시험인 29kph 기둥측면충돌시험 대신 WorldSID를 적용하여 32kph 75도 기둥측면충돌시험을 대체할 예정이다. 본 논문에서는 이를 위하여 기둥측면 충돌 슬레드(sled)를 개발하였다. 새롭게 적용될 WorldSID를 이용하여 개발된 슬레드를 평가한다. 평가방법으로는 측면충돌의 중요한 상해인자인 흉부압축변위량(rib deflection)을 실차에서 얻어진 변위량과 비교한다.

## 2. 기둥측면충돌 시험

### 2.1 시험방법

EuroNCAP은 2015년부터 새로운 측면 충돌 인체모형인 WorldSID를 적용하여 기둥측면 안정성 평가를 실시 할 예정이다<sup>4)</sup>. 기존의 90도 충돌각도는 75도로 변경되고 충돌 속도는 29kph 대신 32kph로 시험을 실시한다. 운전자석에 인체모형을 착석한 시험차를 강제 기둥(rigid pole)형상에 충돌 시킨다. Fig.1은 기둥측면 충돌 시험을 보여준다.

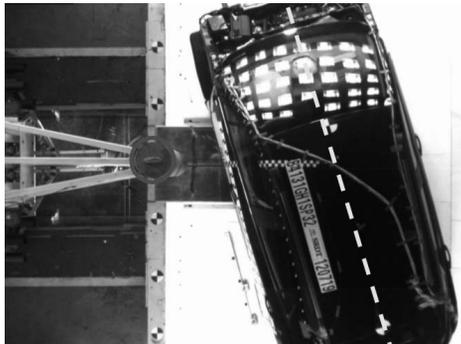


Fig.1 Pole side crash test configuration

### 2.2 WorldSID 인체모형더미

WorldSID는 기존의 측면충돌용 더미인 EuroSID2, EuroSID-2re, USSID보다 생체충실도가 향상된 더미이다. Table1은 WorldSID와 EuroSID-2re의 생체충실도를 비교한 표이다. 생체충실도는 사체시험과 각 신체부위의 단품 반응 시험으로 평가된다. 생체충실도에 사용되는 B(Biofidelity rank)는 낮을수록 우수한 생체충실도를 나타낸다. Table1은 더미의 상해기준을 나타낸다. 또한 기둥측면충돌의 경우 인체측정학적으로 기

Table 1 Comparison of WorldSID and EuroSID-2re

Body Region	Biofidelity			
	Internal		External	
	WS	ES 2re	WS	ES 2re
Head	-	-	0.3	1.0
Neck	-	-	0.8	2.2
Shoulder	1.0	2.1	0.9	1.3
Thorax	3.2	3.1	2.0	2.4
Abdomen	1.9	2.7	2.4	N/A
Pelvis	2.7	3.5	1.8	1.5
Overall (w/A)	2.2	2.8	1.4	-
Overall (wo/A)	-	-	1.2	1.7

준에 사용되고 있는 ES-2re와 상이하<sup>5)</sup>. WorldSID의 머리의 무게중심은 ES-2re보다 전방에 위치하고 높이 또한 다소 낮다. 이에 직접적으로 더미의 머리가 기둥에 충돌할 수 있다. 따라서 착석위치는 ES-2re보다 20mm후방으로 착석시킨다. Table2는 WorldSID의 상해기준을 나타낸다.

Table 2 WorldSID injury criteria

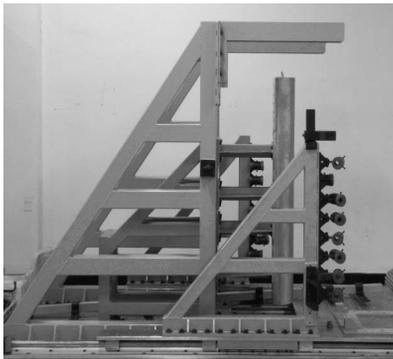
Body region	Parameter
Head	HIC36
	Peak Resultant Acc. <80g
Chest	Higher performance limit, 38mm
	Lower performance limit, 55mm
Abdomen	Higher performance limit, 47mm
	Lower performance limit, 65mm
Pelvis	Higher performance limit, 1.7kN
	Lower performance limit, 2.8kN

## 3. 슬레드 시험

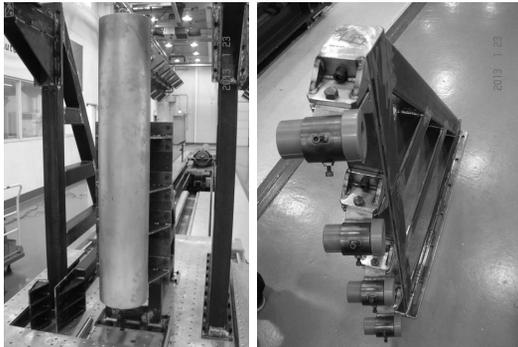
### 3.1 장비 제작

Fig2는 제작된 기둥측면 슬레드 장비이다. 사진(a)는 조립이 완성된 모습을 나타낸다. (b)는 기둥을 나타내며, (c)는 도어 쪽에 파이프를 끼워 넣을 수 있는 파이프 고정장치이다. (d)와 (e)는 좌석고정장치와 슬라이딩 레일을 나타낸다.

슬라이딩 레일 위에 좌석이 고정되며 좌석 고정장치가 관성에 의해 슬라이딩레일을 따라 움직여 기둥에 부딪치게 된다.



(a)



(b)

(c)



(d)

(e)

Fig.2 The pole Side Sled Equipment

### 3.2. 더미 흉부 상해에 영향을 주는 인자 분석

슬레드 시험은 실차 시험과 유사한 더미상해를 얻는 것이 관건이다. 새롭게 제작된 장비를 이용하여 측면 기동 충돌 시 흉부압축변위량에 영향을 주는 인자를 파악하기 위하여 고려할 수 있는 제어인자는 더미의 착석위치, 도어 위치, 슬레드 가속도펄스, 에어백, 안전띠, TTF(Time to Firing)등이 고려대상이 된다. 이 가운데 좌석, 에어백과 안전띠 및 더미의 착석위치, 도어위치, TTF 등은 동일하게 위치하였으며, 파이프의 개수, 폼 경도, 펄스 스케일, 머리 접촉 부위의 폼 두께 등을 제어변수로 선정하였다. 총 21번의 예비시험을 진행하였다. 최초 진행된 4번의 시험은 슬레드 장비 구동, 안전성 확인을 위하여 시험을 진행하였다. 그 다

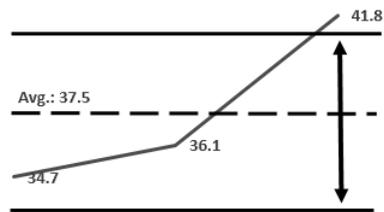
Table 3 Test method and control factors

Test	Number	Remark
Pre-test	4	Check equipment
ES-2re	13	Analysis of control factors
WorldSID	4	To correlate between crash and sled
Control Factors		Number of pipe
		Foam Hardness
		Sled pulse scale
		Head foam thickness

음ES-2re를 이용하여13번의 슬레드 시험을 진행하였다. 이를 통하여 파이프의 개수, 폼의 경도, 슬레드 가속도펄스, 머리 접촉 부분 폼 두께 등 제어인자 영향을 평가하였다. 이후WorldSID를 이용하여 4번의 시험을 수행하였다. Table 3은 슬레드 시험방법 및 제어인자를 나타낸다.

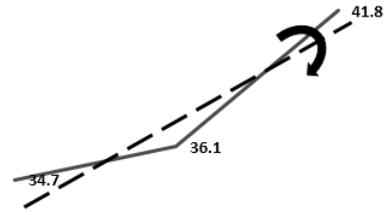
Fig 3은 제어인자의 영향성 분석방법을 도식화한 그림이다. 첫 번째 단계는 슬레드 시험에서 얻어진 각 부위(upper, middle, lower)의 흉부압축변위량의 평균값과 목표치(실차) 평균값을 분석한다. 두 번째로는 각 부위(upper, middle, lower) 지점의 목표치 대비 측정값과의  $\Delta$ (delta)의 표준편차를 분석한다. 즉,  $\Delta_{upper}$ ,  $\Delta_{middle}$ ,  $\Delta_{lower}$  값의 표준편차에 대한 S/N 비(NTB Type 2 S/N 비)를 분석한다.

#### Step 1. 흉부압축변위량 평균 분석



(a) analysis of rib deflection average

#### Step 2. 목표치 대비 표준편차 분석



(b) calculate the standard deviation

Fig.3 Analysis of control factor

3.2.1 흉부압축변위량 평균분석(경향성 분석)

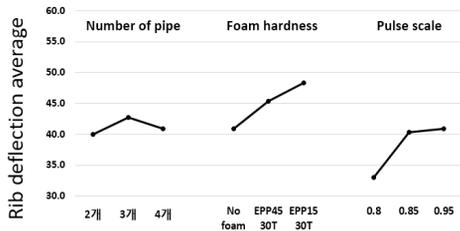


Fig. 4 average deflection of control factors

I) 파이프 개수에 따른 영향도 및 경향 평가  
 예상과는 달리 파이프 개수에 대한 영향성이 낮은 것으로 판단되었다. 파이프 개수를 늘리고 파이프 사이의 거리를 줄이게 되면 강성이 높아져 유의미한 값을 가진다고 판단할 수 있지만 장비 설계상 최대 설치 개수가 4개임을 고려하여, 흉부압축변위량에 대한 영향성이 적은 것으로 판단하였다.

II) 폼 경도에 따른 영향도 및 경향 평가  
 발포프로필렌(EPP)은 충전재로서 표기된 규격 숫자가 낮을수록 높은 경도를 나타낸다. 도어 안쪽에 흉부가 직접적으로 닿을 수 있는 위치에 발포프로필렌 폼을 위치시켜 시험을 수행하였다. 파이프의 개수는 영향성이 없다고 판단하여, 폼의 고정이 용이하게 4개로 정하였다. 시험결과 높은 경도를 갖는 EPP폼에서 높은 흉부압축변위량이 나타났다. 이는 폼의 경도가 높을수록 높은 흉부압축변위량이 발생한다고 볼 수 있다.

III) 슬레드 충돌펄스 스케일에 관련된 영향도 평가  
 슬레드 시험은 완성차량이 아닌 특정 또는 일부분만 시험을 대상으로 한다. 또한 충돌 시 차량이 침입하면서 흡수하는 충돌에너지의 특성을 모사하기가 어렵다. 따라서 실차와 똑같은 충돌 펄스를 적용하여 시험을 수행하면 장비 및 시험대상에 손상이 가는 경우가 발생한다. 따라서 필터를 이용하거나 펄스 자체의 스케일을 줄여 시험을 수행한다. 이 논문에서는 펄스 스케일을 줄여 시험을 수행하였다. 슬레드 가속도 펄스 스케일이 증가할수록 흉부압축변위량은 증가하였다.

하지만 세가지 제어인자에 대한 시험 이미징영상 분석결과 더미의 거동이 머리 부분에서 실차와는 다소 상이하게 나타났다. 따라서 더미 머리에 대한 거동

Correlation이 필요하였다. 이를 위하여 머리가 접촉되는 기둥 부분에 발포프로필렌 폼을 설치하여 추가적인 제어인자 분석을 실시하였다. 동일 경도의 발포프로필렌에 다른 두께를 적용하여 더미 거동을 Correlation 하였다.

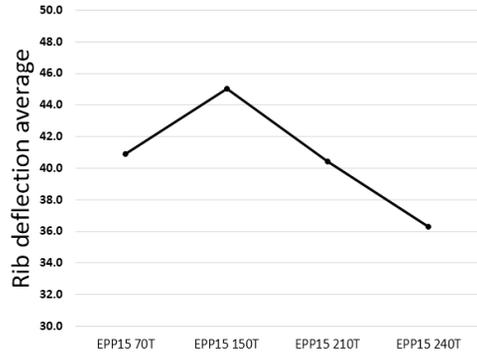
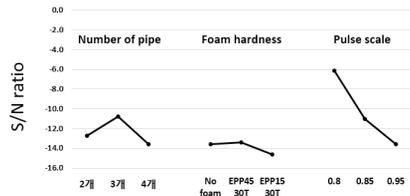


Fig. 5 average deflection of head foam thickness

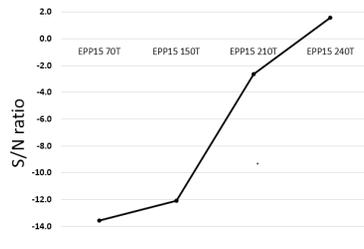
IV) 머리 접촉부분 폼 두께에 따른 영향도 및 경향 평가

머리 접촉부분에 폼을 설치해 실차와 유사한 거동을 얻을 수 있었다. 또한 폼의 두께가 두꺼워 질수록 흉부압축변위량의 평균값은 감소하는 경향을 보였다.

3.2.2 목표치 대비 표준편차 분석(S/N 비 분석)



(a) S/N ratio of control factors



(b) S/N ratio of head foam thickness

Fig. 6 analysis of S/N ratio

S/N 비는 각 제어 인자와 잡음인자의 비이며, 산포가 적으면 S/N 비가 크다. 즉, S/N 비 값이 크면 영향성이 큰 제어인자로 볼 수 있다. Fig 6은 제어인자의 S/N비를 나타낸다. 분석결과 파이프의 개수 및 폼 경도는 기울기에 대한 영향성이 적으며, 펄스 스케일 및 머리 폼 두께는 기울기를 조절할 수 있는 제어인자로 분석되었다.

Table 4 result of the analysis of control factors

Control factor	Average control of rib deflection	Slope control of rib deflection
Number of pipe	X	X
Foam Hardness	O	X
Sled pulse scale	O	O
Head foam thickness	O	O

Table 4은 전반적인 제어인자 영향성 분석결과이다. 제어인자 분석결과 펄스 스케일과 머리 폼 두께를 이용하여 측정 값들의 목표 값들의 편차를 줄인 후, 폼 경도를 바꾸어 평균을 조절한다면 목표한 흉부압축변위량과 유사한 값을 얻을 수 있음이 확인되었다.

### 3.3. WorldSID를 이용한 슬레드 시험

#### 3.3.1 확인시험(Vehicle to sled Validation test)



Fig. 7 vehicle to sled validation test using WorldSID

Fig.7은 WorldSID를 기동측면 충돌 슬레드에 착석시킨 사진이다. Table 5은 수행된 시험조건을 나타낸다. 영향성이 크게 분석된 펄스 스케일 과 머리 폼 두께를 이용하여 흉부압축변위량에 각 평균값 및 기울기

Table 5 test condition of sled validation test

Control factors	Pre-test	Validation test	
	Val.1	Val.2	Val.3
Foam Hardness	none	none	none
Sled pulse scale	0.95	0.95	0.95
Head foam thickness	100T	100T	100T
Time shift	4ms	15ms	20ms

를 조절한다. 확인시험(Validation test)은 실차 시험 대비 슬레드 시험의 흉부압축변위량의 10%이내, 흉부압축변위량 발생시간은 오차범위는 5ms이내로 설정하였다. 결과값이 상이할 경우 영향성 분석결과를 반영하여 제어인자를 추가 시험을 실시한다.

Vehicle to sled validation using WorldSID

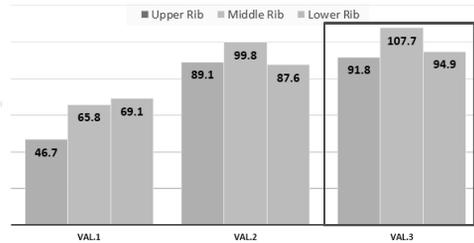
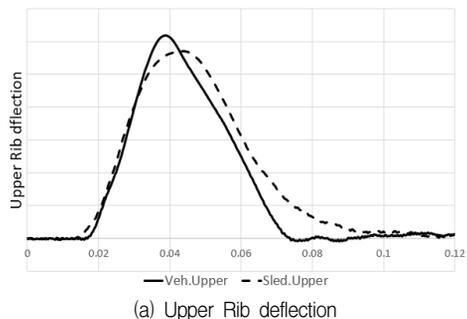


Fig. 8 correlation sled test using worldSID dummy

확인시험결과 타임시프트를 20ms로 조절한 마지막 확인시험인 Val. 3에서 upper, middle, lower rib에서 10% 이내의 흉부압축변위량 측정 및 피크타임 또한 5ms내로 측정이 되어 추가적인 시험은 실시하지 않았다. Fig 8은 실차 시험 대비 슬레드 시험의 흉부압축변위량의 백분율을 나타낸다.



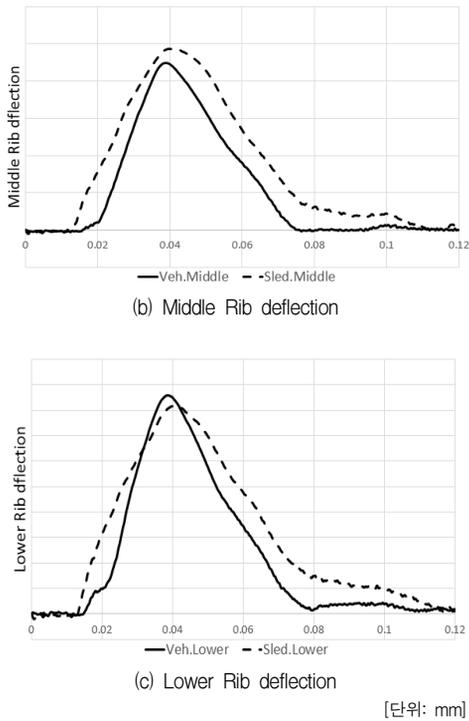


Fig. 9 Chest deflection vehicle to sled test validation

Fig 9는 흉부의 각 부분에 대한 변위량 그래프이다. 실차와 거의 유사한 거동을 확인 할 수 있었다. 가장 차이가 큰 부분은 upper rib으로 실차 대비 약 8%의 흉부압축변위량 차이와 4.8ms의 최대흉부압축변위량 발생 시점차이가 있었다. 설정된 기준치 내로 흉부압축 변위량이 측정되어 효과적으로 실차와 Correlation을 할 수 있었다.

#### 4. 결론

이 논문은 기동측면충돌시험 성능개발을 위하여 슬레드를 제작하였으며, ES-2re를 이용하여 제작된 슬레드의 특성을 파악하고 분석된 결과를WorldSID에 적용하여 슬레드 시험을 진행하였다. 결론은 다음과 같다.

- 1) 기동측면충돌시험 성능 개발을 위하여 새로운 기동측면충돌 슬레드를 개발하였다.

- 2) ES-2re를 이용한 제어인자분석 시험을 실시하였다. 측면도어 강성을 대표하는 파이프의 개수의 영향은 없었다. 발포프로필렌(EPP) 폼의 경도가 증가함에 따라 흉부압축변위량이 증가하였다. 슬레드 충돌펄스 스케일이 증가함에 따라 흉부압축 변위량이 증가하였다.
- 3) WorldSID를 이용한 실차와의 흉부압축변위량을 Correlation 하였고, 시험결과 약8%이내로 최대 압축 변위량을 측정할 수 있었다. 또한 최대압축 변위량 발생시간 또한 4.8ms내로 Correlation 하였다.
- 4) 향후 새로 개발된 기동측면 슬레드를 이용한다면 에어백, 안전띠와 같은 안전장치에 대한 개발비용절감 효과와 측면충돌안전성 향상을 기대할 수 있게 되었다.

#### 참고문헌

- (1) Mc Neill,A, Holznoer.M et al, “Current world wide side impact activities-Divergence Vs Harmonization and the possible effect on future car design”, National Highway Traffic Safety Administration United States, Paper Number No. 05-0077. ESV
- (2) 경찰청통계, 교통사고통계 46page, 2012
- (3) Heather Rhule et al, “COMPARISON OF WORLDSID AND ES-2RE BIOFIDELITY USING AN UPDATED BIOFIDELITY RANKING SYSTEM”, National Highway Traffic Safety Administration United States, Paper Number No. 09-0563. ESV
- (4) EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME Updates to Protocol Version 5.5, January 2013
- (5) Allison E. Loudon, “DYNAMIC SIDE IMPACT TESTING WITH THE 50TH PERCENTILE MALE WORLDSID COMPARED TO THE ES-2RE”, National Highway Traffic Safety Administration United States, Paper Number No. 09-0296. ESV