

## IIHS small overlap 성능개발을 위한 대차 시험 방법 연구

오형준\* · 김승기\* · 김성원\* · 임경호\*

### A study on the sled test methods for IIHS small overlap performance development

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

Key Words : Small overlap crash(국부 충돌), real-world crash(실사고), sled test(대차 시험)

#### ABSTRACT

Small overlap crash caused fatal injury in real-world crash. IIHS(Insurance Institute for Highway Safety) proposed the small overlap test. The objective of this study is to analyze dummy injury criteria and dummy excursion on the sled reinforced body angle. Result of the comparisons of dummy injury criteria of a head, neck, and chest was best correlation between sled and vehicle test on base angle+3°. However, lower extremity was not correlation because sled test could not copy of intrusion. There were a correlation between dummy movement and sled reinforced body angle. Sled reinforced body angle affects the lateral direction of excursion more than longitudinal excursion.

#### 1. 서론

정면 충돌 시험은 미국의 NCAP(New Car Assessment) 경우 56kph 전면 충돌시험(full frontal crash test)을 실시하며, 우리나라와 유럽의 KNCAP과 Euro-NCAP의 경우 64kph 40% 오프셋 충돌 시험(40% offset deformable barrier test)을 실시하고 있다. 최근 들어 충돌 방지(pre-crash) 기술 향상과 더불어 안전벨트, 에어백 등 탑승자 안전장치(restraints)기술 향상과 탑승객실(occupant compartment)의 효과적인 충돌 에너지 흡수 기술 발전으로 인하여, MY2007의 경우 98%의 차량이 NCAP 정면 충돌 시험에서 4star 이상의 점수를 획득하였다.<sup>1)</sup> 하지만 실사고(real-world crash)의 경우 이러한 충돌 시험으로 모사할 수 없는 다양한 충돌이 존재하며, 실사고에서 발생하는 SOFC(Small overlap frontal crash) 사고의 경우 충돌 안전장치가 작동하였

음에도 불구하고 큰 상해를 입는 경우가 많이 발생한다. Brumbelow(2009)<sup>2)</sup>에 따르면 NASS-CDS(National Automotive Sampling System-Crashworthiness Data System)의 2000~2006년 116명의 승객(occupant) 사고 분석 결과 small overlap-overlap(24%), moderate overlap(24%) center(19%), under-ride(14%), low severity(11%) full width(6%), over-ride(2%)의 순서로 정면 실사고 충돌이 발생하였고, 그에 따른 상해 원인은 restraints factor(38%), intrusion(36%), unknown(16%), occupant factor(10%) 순으로 나타났다. 이처럼 small overlap crash는 실사고의 주요한 탑승객 상해 발생 모드이고, 그에 따른 충돌 안전성 향상이 요구됨에 따라 2012년 IIHS(Insurance Institute for Highway Safety)는 SOFC(Small Overlap Frontal Crash) 시험을 제안하였다. 본 논문에서는 대차 시험(sled test) 결과를 통해 small overlap 시험을 모사하고 Hybrid III dummy injury 분석을 통하여 IIHS SOFC에 효과적으로 대응하고자 한다.

\* 한국지엠자동차

E-mail : hyungjoon.oh@gm.com

## 2. Small overlap crash

### 2.1 Real world crash

미국도로교통안전국(NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration)에서는NASS-CDS(National Automotive Sampling System- Crashworthiness Data System)와 CIREN(Crash Injury Research and Engineering Network)등 다양한 실사고 사고, 차량, 승객, 상해 정보를 제공하고 있으며 많은 연구자들이 이러한 사고 정보를 이용하여 충돌 안전을 연구하고 있다.

Pintar(2008)에 따르면 CIEN(Crash Injury Research)의 CDC(Collision Deformation Code) 와 탑승객의 상해 메커니즘을 FLEE, FREE로 분석한 탑승객의 상해 분석결과 crush profile, delta V등과의 상관관계는 나타나지 않았지만, AIS 2일 때 extent가 2~5인 경우 lower extremity, chest, head, spine, pelvis, abdomen, upper extremity순으로 상해가 나타났고 extent가 6~9인 경우 lower extremity, head, pelvis, chest순으로 상해가 나타났다. AIS 3일 때 extent가 2~5인 경우 lower extremity, chest, spine, pelvis, head 순으로 상해가 나타났고, extent가 6~9인 경우 lower extremity, pelvis, upper extremity, head, chest인 순으로 상해가 나타났다.<sup>3)</sup>

Brumbelow(2009)에 따르면 AIS≥3이상의 중증상해(major injury)를 입은 승객의 상해 부위를 분석한 결과, small overlap의 경우 chest, head, abdomen, spine, pelvis로 상해 부위가 나타났다.<sup>2)</sup>

Scullion(2010)에 따르면, 1995~2008년에 발생한 1985+ 연식이상의 차량사고 분석 결과 MAIS+2 injury risk는 single impact damage의 경우 lower extremity, head, upper extremity, thorax의 순으로 상해가 나타났다.<sup>4)</sup>

### 2.2 IIHS small overlap crash test

Small overlap crash test는 차량 centerline으로부터 25% 떨어 진 곳을 40±0.6 mph 속도로 고정 벽에 충돌 시키는 시험 방법이다. Fig.1은 small overlap test configuration을 나타낸다. Small overlap crash test는 전면 충돌 시험(full frontal crash test)과 moderate overlap test와 달리longitudinal member가 대부분의

충돌에너지를 흡수 하기 때문에 다른 정면 충돌 시험과 달리 효과적인 충돌 에너지 분산이 어렵기 때문에 충돌 후 occupant compartment의 intrusion과 차체의 yawing이 상당히 크다. 따라서 small overlap crash test는 dummy injury뿐만 아니라 restraints와 dummy kinematics을 측정하며, 또한 occupant compartment의 intrusion을 평가한다. Dummy injury는 Hybrid III 50%tile dummy를 이용하여 측정하며, restraints와 dummy kinematics는 dummy의 head, chest protection및 occupant excursion등을 demerits를 가하여 평가한다. Structure rating은 승객에 상해를 유발할 수 있는 차량의 다양한 파트의 intrusion을 측정하여 승객을 효과적으로 보호 할 수 있는 structure safety에 대한 평가를 한다.<sup>5,6)</sup>

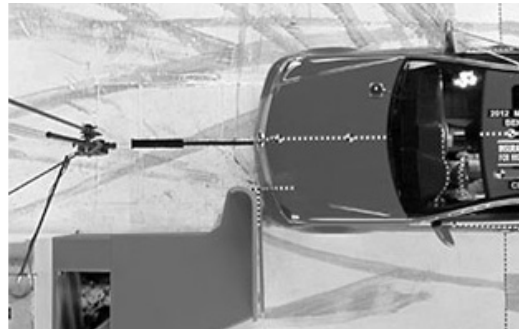


Fig. 1 small overlap crash test configuration

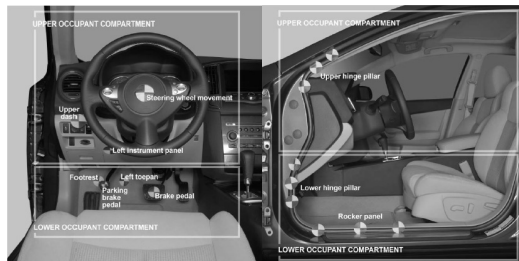


Fig. 2 Vehicle intrusion measuring points

Fig.2는 upper, lower occupant compartment 의in-trusion을 평가하는 measuring point를 나타내며, Table 1,2는 각각 dummy에서 측정하는 injury criteria와 demerits를 가하는 restraints, dummy kinematic의 평가 항목을 나타낸다. Table 3은 IIHS에서 진행한 2013년식 29개 mid-size 차량에 대한 small overlap crash test 결과이다.

Table 1 dummy injury criteria

| Body region   | Parameter                        |
|---------------|----------------------------------|
| Head and neck | HIC-15                           |
|               | Nij                              |
|               | Neck axial tension[kN]           |
|               | Neck compression[kN]             |
| Chest         | Thoracic spine acceleration[3ms] |
|               | Sternum deflection[mm]           |
|               | Sternum deflection rate[m/s]     |
|               | Viscous criterion[m/s]           |
| Thigh and hip | Knee-thigh-hip injury            |
| Leg and foot  | Tibia-femur displacement[mm]     |
|               | Tibia index[upper, lower]        |
|               | Tibia axial force[kN]            |
|               | Foot acceleration[g]             |

Table 2 Restraints and dummy kinematics

| Demerits parameter                     |
|--|
| Frontal head protection                |
| Lateral head protection                |
| Frontal chest protection               |
| Occupant containment and miscellaneous |

Table 3 IIHS small overlap test result, MY2013

| Rating | Overall Rating | Vehicle Structure | Restraints /Dummy Kinematics |                |
|--------|----------------|-------------------|------------------------------|----------------|
| G      | 4              | 2                 | 8                            |                |
| A      | 13             | 10                | 10                           |                |
| M      | 7              | 12                | 6                            |                |
| P      | 5              | 5                 | 5                            |                |
| Rating | Dummy Injury   |                   |                              |                |
|        | Head           | Chest             | Hip /Thigh                   | Lower leg/Foot |
| G      | 28             | 29                | 26                           | 17             |
| A      | 1              | N/A               | 1                            | 2              |
| M      | N/A            | N/A               | N/A                          | 2              |
| P      | N/A            | N/A               | 2                            | 8              |

### 3. Sled test

#### 3.1 시험 방법

Sled 시험은 실차 시험과 달리 충돌 시험을 반복적으로 시험을 모사할 수 있다는 장점이 있다. 이 논문에서 사용된 sled reinforced body는 small overlap의

yawing을 모사 할 수 있도록 다양한 각도로 시험을 할 수 있게 rotation을 주어 제작 하였다. 이를 위하여 CAE를 통하여 dummy head C.G(center of gravity)의 trajectory를 분석하였다. 최초의 head C.G점에서 에어백이 완전전개(fully deployment) 이후에 접촉하는 순간의 각도를 측정하여 sled 시험에서 수행 될 base angle정하였다. Fig.3은 dummy head의 movement를 나타낸다. 수행 된 모든 sled 시험의 조건은 모두 실차 충돌 시험과 동일하게 맞추었다. Fig.4는 sled시험 평가 순서를 나타낸다. Table 4는 수행된 test matrix를 나타낸다.

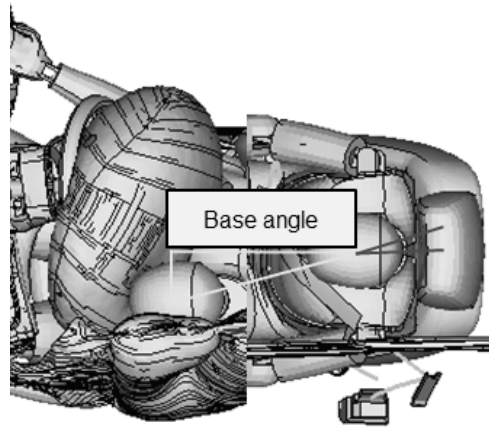


Fig. 3 Dummy head trajectory

1. CAE analysis
2. Base angle sled test
3. Dummy injury analysis
4. Dummy excursion analysis
5. Sled test method evaluation

Fig. 4 sled test method evaluation

Table 4 sled test matrix

| Case No. | Angle     |
|----------|-----------|
| 1        | Base      |
| 2        | Base + 3° |
| 3        | Base - 3° |
| 4        | Base + 6° |
| 5        | Base - 6° |

### 3.2 Dummy injury

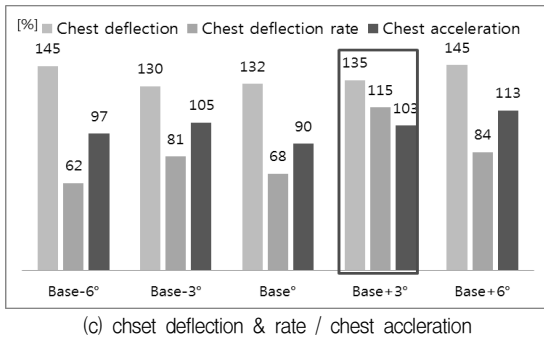
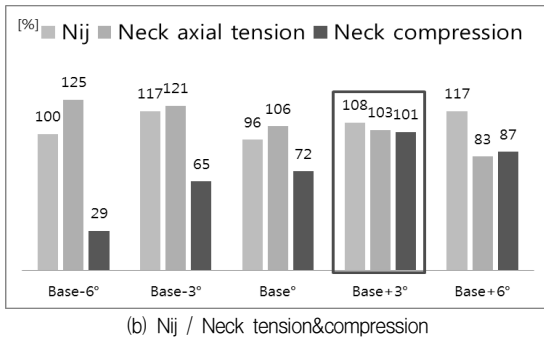
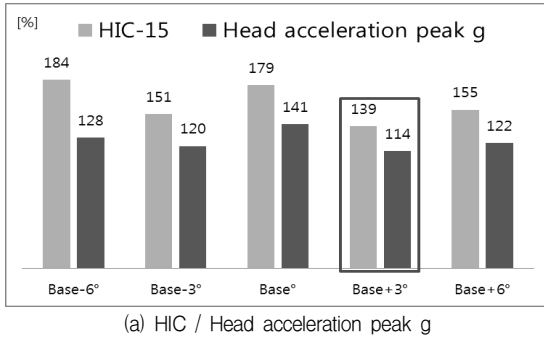


Fig. 5 comparison of dummy injury of sled reinforced body

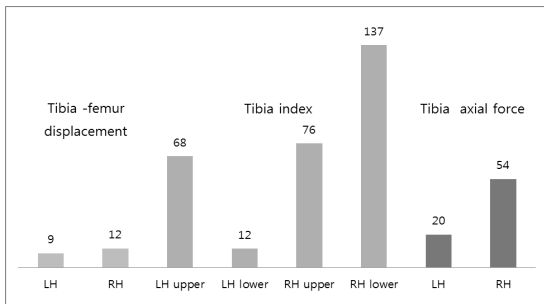


Fig. 6 Lower extremity injury of the selected angle(base+3°)

Hybrid III 50%tile dummy를 사용하여 dummy injury를 측정하였다. 실차 충돌 시험 (vehicle crash test)에서 측정된 dummy injury를 기준(100%)으로 head, neck, chest의 injury를 시험 각도 별로 실차에서 얻은 injury와 비교하였다. 100에 가까울수록 실차 시험과 유사한 injury를 획득한 것으로 판단 할 수 있다. Fig.5의 (a)는 HIC-15와 head acceleration peak g의 백분율을 나타낸다. (b)는 Nij와 neck tension, compression의 백분율을 나타낸다. (c)는 chest deflection, deflection rate와 acceleration의 백분율을 나타낸다. Base angle+3°에서 모든 injury가 실차 충돌 시험과 가장 유사하게 나타났다. Fig.6 은 가장 실차와 가장 유사한 injury를 갖은 각도인base+3°일 때 lower extremity injury를 나타낸다. Sled시험은 차량 충돌 시험과 달리 차체의 intrusion을 모사할 수 없기 때문에 다른 body region과 달리 실차 충돌과의 correlation이 큰 것으로 판단된다.

### 3.3 Dummy excursion

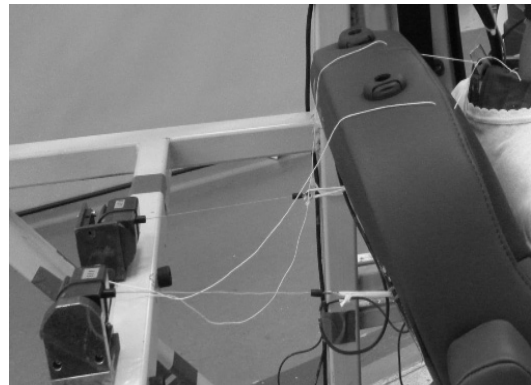
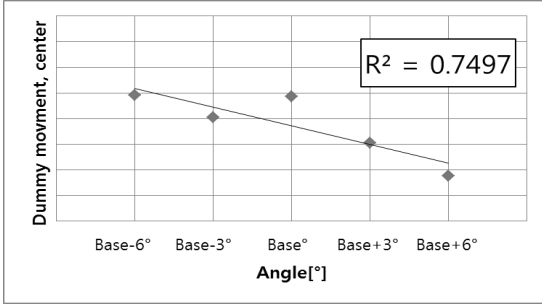


Fig. 7 dummy's forward excursion measuring

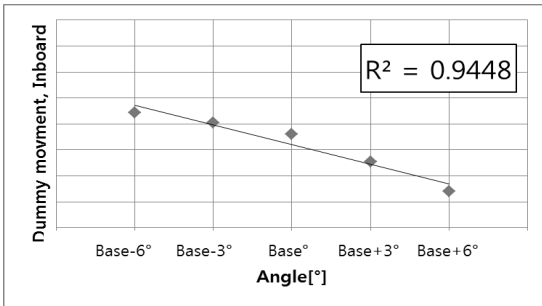
Overall dummy excursion은 seatback hinge point와 seat back deflection과 dummy movement를 측정한다. excursion 측정을 위해 Fig7.와 같이 측정 장치를 설치하였으며, 측정방법은 IIHS에서 제안한 프로시저를 따랐다.

Fig.8은 sled reinforced body의 angle과 dummy movement의 상관관계를 나타낸다. Center movement(a)의 결정계수는 0.7494, inboard movement(b)의 결정계수는 0.9448로 상관성이 높은 것으로 나타났다. Fig.9은 dummy injury가 실차와 가장 유사하게 나타

난 base+3°각도를 기준으로 overall excursion을 각 시험 각도를 백분율로 나타낸 표이다. 시험각도는 longitudinal 방향에 큰 영향을 주지 않지만, lateral 방향에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.



(a) center



(b) inboard

Fig. 8 correlation of analysis of dummy movement



Fig. 9 overall dummy excursion

#### 4. 결론

이 논문은 IIHS small overlap crash 성능 개발을 위한 대차(sled) 시험방법을 연구하였다. 이 논문의 결론은 다음과 같다.

1) CAE 해석을 통하여 sled reinforced body의 base

angle을 제작하였고, base angle 포함 총 5개의 angle mode로 sled 시험을 진행하였다

- 2) Base angle+3°의 각도에서 dummy injury분석 결과 head, neck, chest에서 실차 충돌의 injury와 유사한 값을 얻을 수 있었다. 하지만 lower extremity injury는 실차와 달리 crush intrusion을 모사 할 수 없기 때문에 큰 차이가 나타났다.
- 3) 시험 각도와 dummy movement는 높은 상관관계가 있다. 또한 overall excursion분석결과 시험각도는 longitudinal 방향에 적은 영향을 주지만, lateral방향에는 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.
- 4) 다양한 small overlap crash 실사고 분석 연구 결과 lower extremity의 상해율이 높은 것으로 나타났다. 따라서 향후 lower extremity injury를 모사할 수 있는 sled 시험 방법 개발이 필요하다. 이를 통하여 보다 효과적으로 IIHS small overlap crash에 대응 할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- (1) NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration), Consumer Information: New Car Assessment Program, Docket No. NHTSA - 2006 - 26555
- (2) Matthew L. Brumbelow, David S. Zuby, IMPACT AND INJURY PATTERNS IN FRONTAL CRASHES OF VEHICLES WITH GOOD RATINGS FOR FRONTAL CRASH PROTECTION”, National Highway Traffic Safety Administration United States, Paper Number No. 09-0257. ESV
- (3) Frank A. Pinar, Narayan Yoganandan, Dennis J. Maiman, Injury Mechanisms and Severity in Narrow Offset Frontal Impacts, 52nd AAAM Annual Conference Annals of Advances in Automotive Medicine, October 2008
- (4) Paul Scullion, Richard M. Morgan, Pradeep Mohan, Cing-Dao Kan, A Reexamination of the Small Overlap Frontal Crash
- (5) Insurance Institute for Highway Safety, Small Overlap Frontal Crashworthiness Evaluation Crash Test Protocol (Version II), Dec.2012
- (6) Insurance Institute for Highway Safety, Small Overlap Frontal Crashworthiness Evaluation Rating Protocol (Version II), Dec.2012