

신 정면 충돌 시험의 시뮬레이션 비교 분석

정경진* · 윤영한** · 박지양* · 김동섭* · 오명진* · 곽영찬* ·
손창기* · 신재곤*** · 이은덕*** · 권해봉***

Simulation Analysis and Comparison of New Frontal Impact Tests

Kyungjin Jung*, Younghan Youn**, Jiyang Park*, Dongseup Kim*,
Myoungjin Oh*, Youngchan Kwak*, Changki Son*,
Jaekon Shin***, Eundok Lee***, Hae Boung Kwon***

Key Words : KNCAP(자동차안전도평가), Dummy(인체모형), Injury(상해), Frontal impact(정면충돌),
IIHS(미국고속도로안전보협협회), NHTSA(미국도로교통안전국), Euro-NCAP(유럽신차안전도평가)

ABSTRACT

KNCAP is a program to evaluate the automobile safety, providing consumer vehicle safety assessment results. The safety evaluation tests are Frontal Impact, Offset Frontal Crash, Side Crash, Side Pole Crash, Rear Impact. This is the study of the offset frontal impact safety evaluation. Currently, IIHS is performing a small overlap test. NHTSA plans to implement the oblique moving deformable barrier test. Euro-NCAP plans to implement a mobile frontal impact test. Simulation is used to compare occupant behavior and injury. We have investigated whether the introduction of the test at KNCAP is necessary. The dummy model used in the simulation was the 50th percentile male Hybrid III dummy.

1. 서론

국내 교통사고 DB(Korean In-Depth Accident Study, KIDAS)를 통해 분석한 결과 전체 차대차 사고 중 64%가 정면충돌 사고이고, 이중 자동차 앞면 전체가 충돌한 경우가 58%, Offset 충돌이 43%를 차지하고 있다.^{(1),(2)} 또한 offset 충돌 중 Small overlap 충돌이 46%를 차지한다.⁽³⁾

현재 KNCAP에서 시행하고 있는 정면충돌 시험법의 경우 56km/h의 속도로 콘크리트 고정벽에 충돌하는 시험과, 64km/h의 속도로 변형벽에 40% offset 되어 충돌하는 부분 정면충돌 시험을 하고 있다.⁽⁴⁾ 따라서 40%

미만 overlap 충돌에 대한 시험법은 시행하고 있지 않은 실정이다. 따라서 KNCAP에도 새로운 부분 정면충돌에 대한 시험법의 도입이 필요한 상황이다.

현재 유럽과 미국에서는 overlap 충돌에 대한 시험을 시행, 추진할 계획에 있다. IIHS에서는 Small overlap test를 시행중에 있고 NHTSA에서는 Oblique moving deformable barrier test를 시행 할 계획에 있다. 또한 Euro-NCAP에서는 mobile frontal impact test를 시행 할 계획에 있다.

Small overlap test의 경우 차량들이 KNCAP에서의 등급보다 낮은 등급을 받고 있음을 알 수 있다.⁽⁵⁾ 따라서 KNCAP에도 이와 같은 시험의 도입 유무를 알아보기 위해 본 연구를 진행 하게 되었다.

본 연구는 offset 충돌 사고 시 승객 보호를 위함은 목적으로 위에 언급한 세 가지 시험방법을 재현하여 시뮬레이션을 수행하고 각각의 시험에 대해 Dummy의 거

* 한국기술교육대학교 대학원

** 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

*** 교통안전공단 자동차안전연구원

E-mail : rudwls218@koreatech.ac.kr

동과 상해치 차이를 비교 분석 하여 KNCAP에의 새로운 offset 시험법의 도입 유무에 대해 알아보려고 한다.

2. 시험 및 평가방법

2.1. 시험 방법

2.1.1. Small overlap test method

IIHS의 Small overlap test는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 Barrier를 차량의 중앙으로부터 25% 지점에 위치 시킨 후 정면 충돌용 인체모형인 Hybrid-III Dummy를 탑승시킨 시험용 자동차를 64km/h의 속력으로 충돌시킨다.

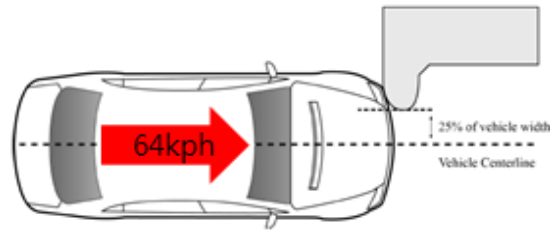


Fig. 1 Small overlap test protocol

2.1.2. Oblique moving deformable barrier test

NHTSA의 Oblique moving deformable barrier test는 Thor-dummy를 시험용 자동차에 탑승 시키고 Fig. 2에 나타난 것과 같이 Deformable barrier를 차량의 중앙으로부터 15도의 각도를 주면서 차량 끝으로부터 35% 지점에 90km/h의 속력으로 충돌시킨다.⁽⁶⁾

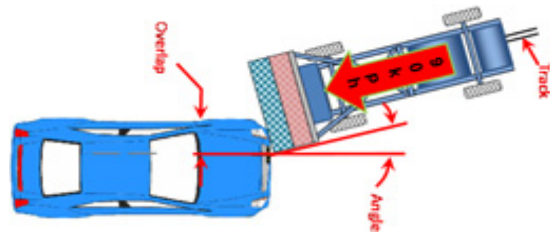


Fig. 2 Oblique moving deformable barrier test protocol

2.1.3. Mobile frontal impact test

Euro-NCAP의 Mobile frontal impact test는 Fig. 3과 같이 정면 충돌용 인체모형인 Hybrid-3 Dummy를 시험용 자동차에 탑승 시키고 MPDB와 자동차 너비의 50%가 충돌될 수 있도록 위치시킨 후, 자동차와 MPDB 모두 50km/h의 속력으로 충돌시키는 시험 방법이다.

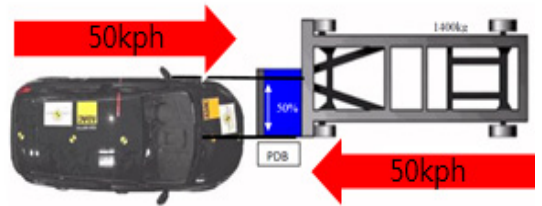


Fig. 3 Mobile frontal impact test protocol

2.2. 평가 방법

본 연구에서는 위 세 가지 시험에 대해서 KNCAP에서의 부분정면충돌안정성 평가시험과 동일하게 진행 하였다.⁽⁸⁾ KNCAP의 평가시험은 충돌 시 문 열림 여부, 충돌 후 문 열림 용이성, 충돌 후 연료누출 여부 및 상해 등급의 4가지 항목으로 구성되나,⁽⁹⁾ 상해등급만으로 평가를 수행하였다.

상해등급(point)은 Table 1과 나타난 것과 같이 머리, 목, 흉부, 상부다리, 하부다리의 부분별로 부여하는데, 최솟값과 최댓값 사이로 측정되는 상해값에 따라 차등적으로 점수를 부여한다. 상해값은 기준이 되는 범위에 따라 반올림하여 각각 정수, 소수점 첫째자리, 소수점 둘째자리로 나타낸다.

Table 1 Injury value of moderate overlap crash test⁽³⁾

	Injury	Criterion		Point
		min	max	
Head	HIC36	650	1000	
	HIC15	650	1000	
Neck	Shear (Fx) (kN)	1.9	3.1	4.0
	Tension (Fz) (kN)	2.7	3.3	
	Extension (Mocyc) (Nm)	42	57	
Chest	Compression (mm)	22	50	4.0
	Viscous Criterion (m/s)	0.5	1.0	
Femur	Femur Force (kN)	3.80	9.07	4.0
	Knee Slide (mm)	6	15	
Tibia	Axial Force (Fz) (kN)	2	8	4.0
	Axial Force (Fz) (kN)	2	8	
	Upper tibia index	0.4	1.3	
	Lower tibia index	0.4	1.3	

3. 시뮬레이션 시험 모델 구성

3.1. 슬레드 모델 구성

3.1.1. 모델 구성

기존의 간략하게 구성하던 Sled 모형과는 달리 Fig. 4처럼 차량의 내부 인테리어를 구성하여 좀 더 정확한 해석이 가능하도록 하였다.⁽¹⁰⁾ Dummy가 정면 충돌 시 접촉할 만한 스티어링 휠, A-필라, 대쉬보드, 도어 트림 등을 구성하였다.

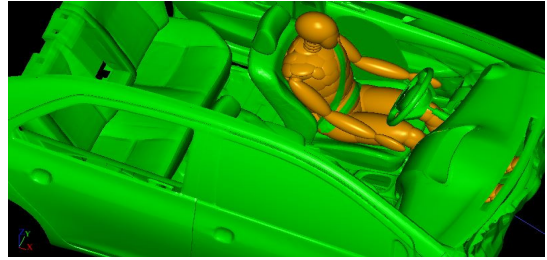


Fig. 4 MADYMO model

3.1.2. 슬레드 펄스

각 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 처럼 각 시험과 동일한 조건으로 시뮬레이션을 하고 각 모델에서 나오는 가속도 값을 추출하여 펄스를 주었다. 단, Oblique moving deformable

barrier test와 Mobile frontal impact test 경우 Barrier 대신에 비슷한 무게의 차량과 차대차로 충돌하게 재현 하였다.

Fig. 8, Fig. 9는 각각의 시뮬레이션으로 추출해낸 펄스 값이다. X방향, Y방향 가속도를 따로 뽑아내어 각각의 방향으로 펄스를 주어 슬레드 해석을 수행했다.

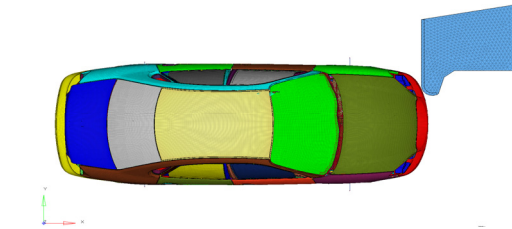


Fig. 5 Small overlap test model

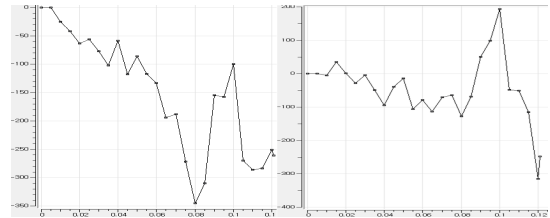


Fig. 8 Small overlap test sled pulse (m/s²)

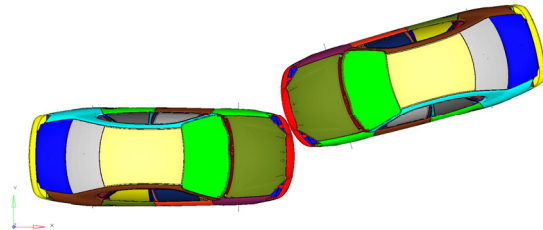


Fig. 6 Oblique moving deformable barrier test model

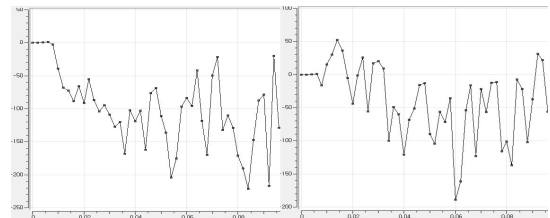


Fig. 9 Oblique moving deformable barrier test sled pulse (m/s²)

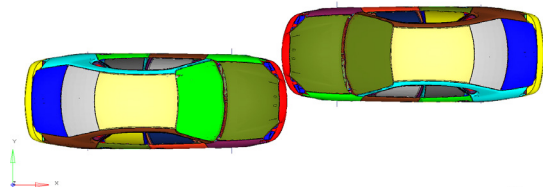


Fig. 7 Mobile frontal impact test model

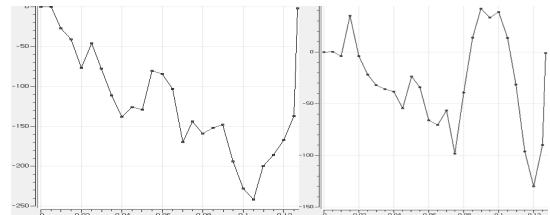


Fig. 10 Mobile frontal impact test sled pulse (m/s²)

4. 충돌 시뮬레이션

4.1. Small overlap test model 시뮬레이션

Small overlap test 시뮬레이션의 경우 Y방향의 가속도가 큰 값을 가지고 있기 때문에 운전석 더미가 DAB의 완전한 보호를 받지 못하고 머리 부분이 A필라 방향으로 빠지는 것을 알 수 있다. 그리고 또한 CAB도 충격을 흡수하지는 않음을 알 수 있었다. 따라서 운전석 더미의 HIC값이 꽤 높게 나올 것을 예상할 수 있다. 122msec 이후에는 리바운드가 발생함을 알 수 있다(Fig. 11).

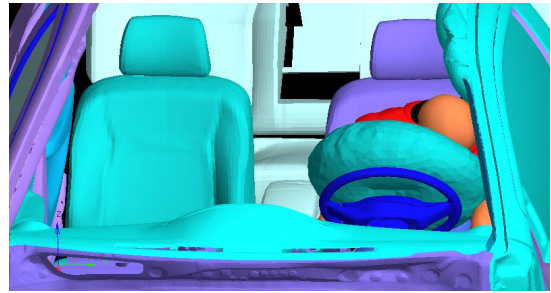


Fig. 11 Small overlap test simulation

4.2. Oblique moving deformable barrier test model 시뮬레이션

Oblique moving deformable barrier test 시뮬레이션의 경우 Y방향의 가속도가 Small overlap test 가속도 보다 큰 값을 가지고 있다. X방향 가속도의 70% 수준이다. 따라서 운전석 더미가 DAB와 CAB의 보호를 거의 받지 않음을 알 수 있었다. 그래서 더미의 머리 부분이 DAB와 CAB 사이 A필라 방향으로 빠지는 것을 알 수 있다. 또한 112msec에서 A필라 외의 강한 접촉이 발생하였다. 따라서 운전석 더미의 HIC값이 상당히 높게 나올 것을 예상할 수 있다(Fig. 12).

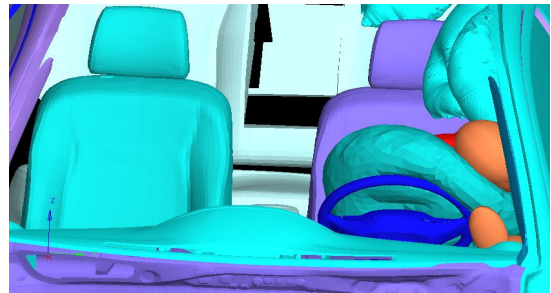


Fig. 12 Oblique moving deformable barrier test simulation

4.3. Mobile frontal impact test model 충돌 시뮬레이션

Mobile frontal impact test 시뮬레이션의 경우 Y방향의 가속도가 앞의 두 시험에 비해 낮은 값이다. 결과를 보면 운전석 더미가 DAB의 보호를 100% 받지 못하나 상당히 충격을 흡수하고 있음을 알 수 있다. 127msec 이후에는 리바운드가 발생함을 알 수 있다(Fig. 13).

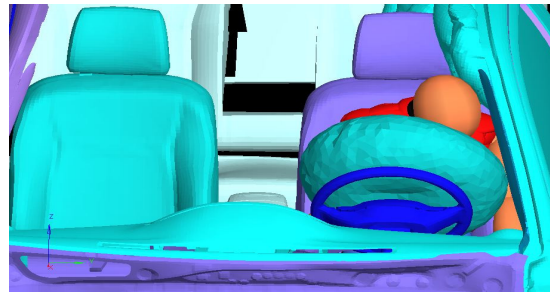


Fig. 13 Mobile frontal impact test simulation

5. 상해 평가

5.1. Small overlap test model 상해 평가

Table 2에서 나타난 바와 같이, Small overlap test 시뮬레이션의 경우 전체적인 값이 기준값 안에 위치 하지만 상당히 높은 값들을 형성 하는 것을 알 수 있다. Head의 경우 DAB가 충격을 완전히 흡수 하지 않기 때문으로 보인다. 특히 Femur부분에서의 상해가 높게 나타났는데, 이는 더미가 앞으로 이동하면서 무릎부분과 대시보드 사이에 접촉이 발생하면서 높게 형성된 것으로 보인다.

5.2. Oblique moving deformable barrier test model 상해 평가

Table 2는 Oblique moving deformable barrier test 시뮬레이션의 많은 수치들이 기준치를 모두 초과한다는 것을 나타내고 있다. 특히 Head의 경우에는 비현실적으로 높은 수치가 나왔다. 그 이유는 해석모델의 더미가 ellipsoid 모델이고 A필라 또한 rigid로 되어 있어서 발생한 값이라 추정된다. 하지만 DAB와 SAB가 에어백 역할을 전혀 해주지 못하여 Head가 A필라에 접촉되는 점으로 보아 실제로도 높은 수치가 발생할 것으로 추측할 수 있다. Chest 또한 DAB의 충격 흡수를 받지 못해

Table 2 Simulation injury

	Injury	Criterion		Value ¹⁾	Value ²⁾	Value ³⁾
		min	max			
Head	HIC36	650	1000	634.18	11136	231
	HIC15	650	1000	383.03	11136	117
Neck	Shear (Fx) (kN)	1.9	3.1	2.5	2.1	1.5
	Tension (Fz) (kN)	2.7	3.3	2.3	1.9	1.1
	Extension (Mocy) (Nm)	42	57	62	45	36
Chest	Compression (mm)	22	50	37	59	31
	Viscous Criterion(m/s)	0.5	1.0	1.9	2.3	1
Femur	Femur Force(kN)	3.80	9.07	14.36	9.5	14.12
	Knee Slide (mm)	6	15	16	18	11
Tibia	Axial Force(Up) (Fz) (kN)	2	8	5.6	6.6	5.7
	Axial Force(Low) (Fz) (kN)	2	8	2.5	3	2.6
	Upper tibia index	0.4	1.3	1.3	2.3	0.7
	Lower tibia index	0.4	1.3	0.4	1.5	0.2

- 1) Small overlap test model injury
- 2) Oblique moving deformable barrier test model injury
- 3) Mobile frontal impact test model injury

서 상해치가 높게 나온 것을 알 수 있다. Femur 부분은 Small overlap과 마찬가지로 대시보드와의 접촉이 발생하였다. 다른 시험에 비해 모든 상해치가 높게 형성됨을 알 수 있다.

5.3. Mobile frontal impact test model 상해 평가

Table 2를 통해 Mobile frontal impact test 시뮬레이션이 다른 두 시험에 비해 값이 상당히 낮게 나오는 것을 알 수 있다. 많은 수치들이 기준 이하의 값을 형성하고 있고, 다만 Femur 부분에서 높은 값이 나왔는데 이것 역시 대시보드와 접촉하면서 값이 높게 형성된 것으로 보인다.

6. 결론

본 연구에서는 Sled 시험 시뮬레이션을 통해 최근 새롭게 등장한 3가지 정면충돌 시험법에 대해 더미의 거동 및 상해에 대해 비교 분석 하여, 앞으로 KNCAP에서의 도입유무에 대해 방향을 제시하는 연구를 하고자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 동일한 Sled 모형에 같은 더미, 같은 포지션, 같은 안전장치를 부착하고, 펠스만 다르게 주어 해석을 진행 하였는데, 시험에 따라 더미의 거동과 상해가 다른 것으로 나타났다.
- 2) Small overlap test의 경우 DAB와 SAB가 머리 충격을 100% 흡수 해주지 못 한다는 측면에서 부분 정면충돌과 차이가 난다. 따라서 HIC값도 더 높게 나왔다. 따라서 이런 overlap 상황의 실 사고 시에 승객의 큰 상해가 예상됨을 알 수 있고, KNCAP에서 overlap 상황의 시험 도입 검토가 필요함을 알 수 있다.
- 3) 특히, Small overlap test와 Mobile frontal impact test에서는 DAB와 CAB가 어느 정도 머리 충격을 흡수해주고 리바운드 되었다. 하지만 Oblique moving deformable barrier test의 경우 다른 두 시험과 다르게 충격을 DAB와 CAB가 거의 흡수하지 못하고 A필라에 부딪히는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션에서는 상해값이 비정상적으로 높긴 하지만 실제 시험에서도 충분히 높을 것이라 예상할 수 있었고, 세 가지 시험 중 가장 까다로운 조건의 시험인 것을 예상 할 수 있었다.
- 4) Mobile frontal impact test의 경우 더미의 거동 및 상해가 현재 KNCAP에서 시행하고 있는 부분 정면충돌 부분과 거의 유사하게 나오는 것을 알 수 있었다. 또한 차량의 움직임 또한 정면충돌 부분과 거의 유사하게 나타남을 알 수 있었다.
- 5) 시험은 운전석을 기준으로 수행하였지만 실제 사고는 전방탑승자석 쪽에서도 발생할 수 있다. 이 경우 overlap 특성상 한쪽으로 치우치기 때문에 CAB, SAB등의 안전장치가 없는 방향으로 더미가 움직일 수 있고, 이에 큰 상해가 유발될 수 있고, 이에 관한 대책이 필요한 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(16PTSI-C054118-08)으로 수행된 연구임.

참고문헌

- (1) 박지양, 윤영환, 김민용, 김인배, 신재곤, 이은덕, 이장규, 2017, “승객더미모델에 따른 Far side 충돌 해석에서 상해비교분석,” 자동차안전학회지, Vol. 9, No. 1.
- (2) Younghan Youn, Jaewan Lee, Byungdo Kang, Gyuhyun Kim, Haeboung Kwon, 2017, “THE PROPOSED NEW KNCAP FRONTAL CRASH TEST BASED ON THE IN-DEPTH ACCIDENT DATA,” ESV Conference.
- (3) 김인배, 2016, KIDAS 실사 사고 데이터 분석을 통한 Small overlap 특성 연구.
- (4) 국토교통부, 2016, 자동차안전도평가시험 등에 관한 규정, 국토교통부고시.
- (5) Sherwood CP, Nolan JM, & Zuby DS, 2009, “Characteristics of small overlap crashes,” 21st International ESV Conference. Stuttgart, Germany.
- (6) Saunders, J., Parent, D., 2013, Assessment of an Oblique Moving Deformable Barrier Test Procedure: Seoul.
- (7) KATRI, 2015, Korean New Car Assessment Program, Final Report.
- (8) KATRI, 2016 Korean New Car Assessment Program, Final Report.
- (9) 국토교통부, 2015, 자동차안전도평가시험 등에 관한 규정, 국토교통부고시.
- (10) 조규상, 함정식, 2010, “범용 측면 마디모 해석 모델 구성 및 활용,” KSAE 2010 Annual Conference.