

소형 승용차량의 측면충돌 시 탑승자 보호성능 평가

김 관 희*¹⁾ · 임 종 훈¹⁾ · 임 장 호¹⁾ · 박 인 승¹⁾ · 조 종 두²⁾

보험개발원 자동차기술연구소¹⁾ · 인하대학교 대학원 기계공학과²⁾

Evaluation of Occupant Protection of Passenger Vehicles at IIHS Side Impact

Guanhee Kim*¹⁾ · Jonghun Lim¹⁾ · Jangho Lim¹⁾ · Insong Park¹⁾ · Chongdu Cho²⁾

¹⁾Korea Automobile Insurance Repair Research & Training Center, Korea Insurance Development Institute, 125-1 Susan-ri, Seolseong-myeon, Icheon-si, Gyeonggi 467-882, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received 15 March 2013 / Revised 26 April 2013 / Accepted 30 April 2013)

Abstract : 2,097 deaths out of 5,229 by traffic accident occurred by vehicle to vehicle crash and 855 deaths out of 2,097 occurred at side crash in 2011. Korean government adopted New Car Assessment Program to reduce the wounded and deaths at traffic accident in 1999 and side impact test has been added in 2003. 43 out of 53 vehicles tested in NCAP side impact rated 4 and 5 stars means the highest occupant protection. In this study three small class vehicles have been tested according to Insurance Institute for Highway Safety's side crashworthiness test protocol. IIHS test protocol uses 1,500kg moving barrier rather than NCAP's 950kg and the occupant protection rated Good, Acceptable, Marginal and Poor based on injury measure, structural integrity and head protection.

Key words : Occupant protection(탑승자 보호성능), Structural integrity(구조적 견고성), Side impact(측면충돌), KNCAP(한국신차안전도평가프로그램), IIHS(도로안전보험연구소)

Nomenclature

HIC : head injury criteria
F : force, kN
M : moment, Nm
VC : viscous criterion, m/s

Subscripts

i : rib number
t : time
r : resultant

1. 서론

2011년 교통사고로 인한 사망자는 총 5,229명으로 이중 약 40%인 2,097명이 차대차 사고로 인해 발생한 사망자였으며, 차대차 사고로 인한 사망자를 유형별로 세분해 보면 정면충돌 사고로 인한 사망자는 344명(16.4%), 측면충돌로 인한 사망자는 855명(40.8%), 후면충돌로 인한 사망자는 551명(26.3%)으로 측면충돌 사고로 인한 사망자가 가장 높은 것으로 나타났다.¹⁾

우리나라는 1999년 자동차 제작사로 하여금 보다 안전한 자동차를 제작하도록 유도하여 교통사고로 인한 인명피해를 줄이기 위해 KNCAP(신차안전도평가프로그램)을 운영하고 있으며, 2003년부터는 950kg의 이동 배리어가 정지하고 있는 차량의 좌측

*Corresponding author, E-mail: kimgh93@kidi.or.kr

면충돌하여 차량의 안전성을 평가하는 측면충돌 시험 기준을 도입하여 운영하고 있다. KNCAP 측면충돌 시험이 도입된 이후 53대(2012. 1현재)의 승용 및 승합차량에 대해 평가한 결과 약 81%인 43대가 각각 별 4개와 5개를 받았다.

그러나 현재의 이러한 KNCAP 측면충돌 안전성 평가기준은 여성운전자의 증가 및 SUV 차량의 증가로 인한 국내 자동차 시장상황을 충분히 반영할 필요가 있다. 2011년 12월 현재 등록차량 18,437,373대 중 약 77%를 차지하는 승용차량의 평균 공차중량 분포를 보면 경차 947kg, 소형 1,177kg, 중형 1,458kg, 대형 1,730kg, SUV 1,892kg으로 평균 약 1,600kg인 것으로 나타나 KNCAP 측면충돌 배리어 중량 950kg과는 큰 차이를 보이고 있다.

본 연구에서는 승용차량 운전 중 사망 비율이 35.7%로 가장 높은 35세 이하의 운전자들이 생애 첫 차로 선호하는 소형 승용차량 3대를 대상으로 1,500kg 이동 배리어가 정지하고 있는 차량의 좌측면을 충돌하는 미국 IIHS의 측면충돌 안전성 평가기준에 따라 인체상해 위험도, 차체구조 안전도, 머리보호 성능평가를 실시하고, 이를 통해 측면충돌 시 탑승자 보호성능을 강화하기 위한 개선방안을 제시하였다.

2. 탑승자 보호성능 시험방법

2.1 시험 방법

탑승자 보호성능을 평가하기 위해 1,500kg의 이동 배리어가 50km/h의 속도로 정지하고 있는 차량의 좌측면을 충돌하는 시험을 실시하였다. 이 때 충돌 시 탑승자의 부상 위험도를 분석하기 위해 운전석과 운전석 뒷좌석에 측면충돌시험용 인체모형인 SID-II_s 5th percentile 여성 더미를 탑재하여 각 신체 부위별 부상위험을 평가하였다.

더미에서 측정한 데이터와 함께 충돌 시 승객룸의 변형정도(충돌 시 B 필라가 승객룸 안으로 침입하는 정도)와 구속장치 및 더미거동을 종합적으로 고려하여 차량의 탑승자 보호성능을 평가하였다.

본 연구에 사용된 시험 조건은 현재 미국의 도로 안전보험연구소(IIHS : Insurance Institute for Highway Safety)에서 차량의 측면충돌성능을 평가하기 위해

사용하는 시험 유형으로, SUV와 같이 차량 중량이 무겁고 높이가 높은 차량에 의한 측면충돌 사고 시 차량의 탑승자 보호성능을 평가하기에 적합한 시험 방법이며,²⁾ 동시에 탑승자 보호성능 등급을 결정하는 방법은 시험에 사용된 인체모형(성인 여성)과 체격과 탑승자세가 다른 실제 차량 운전자의 상해위험을 평가하기에 적합하다.

2.2 시험 대상 차량

본 연구를 위해 국산 소형 승용차량 3대에 대해 충돌시험을 실시하였으며, Table 1에 연구에 사용된 차량을 나타내었다.

Table 1 Vehicle specification

Vehicle type	Car 1	Car 2	Car 3
Weight (kg)	1,198	1,247	1,230
Airbag	side&curtain	side&curtain	side&curtain

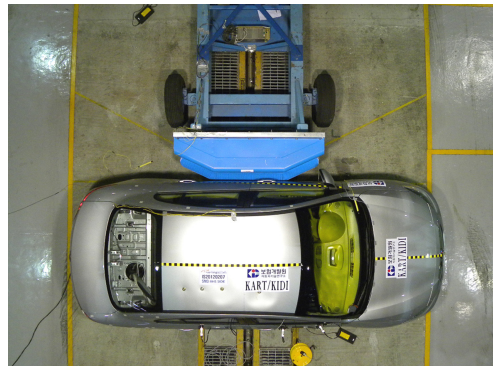


Photo. 1 Test configuration

2.3 시험결과 분석방법

운전석 및 운전석 뒷좌석에 탑재한 더미에 기록된 데이터를 기초로 인체상해 위험도와 충돌 시 차체가 승객룸 내부로 찌그러드는 차체 변형량 그리고 구속장치 및 더미거동에 대한 평가를 종합적으로 실시하여 차량 등급을 Good(우수)에서 Poor(미흡)등급으로 평가하였다.

2.3.1 인체상해 위험도

시험 시 운전석과 운전석 뒷좌석에 탑재한 더미에 기록된 데이터를 근거로 신체 부위를 머리와 목, 몸통, 골반과 하체의 세 부분으로 구분하여 Good,

Table 2 Injury criteria for head and neck

Body region	Parameter	IARV	G-A rating	A-M rating	M-P rating
Head and Neck	HIC-15	779	623	779	935
	Tension (kN)	2.1	2.1	2.5	2.9
	Compression (kN)	2.5	2.5	3.0	3.5

Table 3 Injury criteria for torso

Body region	Parameter	IARV	G-A rating	A-M rating	M-P rating
Torso	Rib deflection (mm)	34	34	42	50
	Deflection rate (m/s)	8.20	8.20	9.84	11.48
	Viscous criteria (m/s)	1.00	1.00	1.20	1.40

Table 4 Injury criteria for right and left leg

Body region	Parameter	IARV	G-A rating	A-M rating	M-P rating
Pelvis and Left Femur	Acetabulum force (kN)	4.0	4.0	4.8	5.6
	Ilium force (kN)	4.0	4.0	4.8	5.6
	Acetabulum and ilium force (kN)	5.1	5.1	6.1	7.1
	Femur A-P force (kN)	±3.9	±2.9	±3.4	±3.9
	Femur L-M force (kN)	±3.9	±2.9	±3.4	±3.9
	Femur A-P bending M (Nm)	±356	±254	±305	±356
	Femur L-M bending M (Nm)	±356	±254	±305	±356

Acceptable, Marginal 그리고 Poor로 평가하였으며, Good등급은 탑승자가 부상을 입을 가능성이 가장 낮은 것을 나타낸다.^{3,4)}

Table 2는 머리와 목의 부상등급을 평가하는 기준으로, 머리상해치(HIC15), 목에 걸리는 하중조건(인장 또는 압축)에 따라 등급을 결정한다.

Table 3은 몸통의 부상등급을 평가하는 기준으로, 갈비뼈의 변형량과 변형률 그리고 연부조직 기준에 따라 등급을 결정한다.

Table 4는 왼쪽 다리와 발의 부상등급을 평가하는 기준으로, 치골에 작용하는 하중과 대퇴부(넓적다리)에 작용하는 하중 및 굽힘 모멘트에 따라 등급을 결정한다.

$$HIC15 = \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a_r dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

where a_r : head resultant acceleration(g)

$$VC(t)_i = 1.0 \times V(t)_i \times \frac{D(t)_i}{138mm} \quad (2)$$

where $V(t)_i$: velocity of rib i at time t (m/s)

$D(t)_i$: deflection of rib i at time t (mm)

2.3.2 차체구조 안전도

충돌 시 차량의 B 필라가 승객룸 내부로 찌그러드는 양을 측정하여 등급을 결정한다.⁵⁾ 충돌 후 B 필라와 운전석 시트 중심까지의 거리가 12.5cm 이상이면 Good, 12.5~5.0cm 이하이면 Acceptable, 5.0~0cm 이하이면 Marginal, B 필라가 운전석 시트 중심선 넘어 까지 찌그러지면 Poor 등급으로 결정된다. Table 5는 차체구조 안전도 평가기준을 나타낸다.

Table 5 Structural rating criteria

Boundary line	G	A	M	P
B pillar to driver seat centerline (cm)	12.5	5.0	0.0	
Structural failure	Downgrade by one category			

2.3.3 머리 보호성능

충돌 시 더미의 머리가 이동 배리어 또는 차량의 단단한 부분과 충돌하는 지 여부를 분석하여 등급을 결정한다.

3. 시험 결과

국산 소형승용차량 3차종에 대해 IIHS 시험기준으로 탑승자 보호성능을 평가하고 그 결과를 비교 분석하였다.

3.1 머리와 목 상해 위험도

충돌 시험 시 운전석 및 운전석 뒷좌석에 탑재한 더미의 머리와 목에 기록된 데이터를 Table 6에 나

Table 6 Head and neck injury measure

Parameter	IARV	Car 1		Car 2		Car 3	
		D	R	D	R	D	R
HIC-15	779	343.7	270.4	231.6	371.0	149.8	173.7
Tension (kN)	2.1	1.14	0.51	1.26	0.35	1.21	0.30
Compression (kN)	2.5	0.24	0.28	0.12	0.23	0.15	0.24

타내었다. 시험 차량 3대에 탑재된 더미의 머리와 목 부상위험은 모두 기준값을 초과하지 않았으며 Good 등급에 해당하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 3차종 모두 머리와 몸통을 보호할 수 있는 측면에어백이 장착되어 있어, 충돌 시 더미의 머리와 목이 에어백에 의해 적절하게 보호되었기 때문으로 판단된다.⁶⁾

3.2 몸통 상해 위험도

각 시험차량에 탑재한 더미에 기록된 몸통 상해 위험도는 Table 7과 같다. Car 2의 경우 운전석 뒷좌석에 탑재한 더미의 갈비뼈 최대 변형이 51mm로 나타나 몸통 상해등급은 Marginal에 해당 되었으며, 이러한 결과는 충돌 시 차체가 승객룸 내부로 침입하는 양이 커서 갈비뼈에 큰 충격이 발생하였기 때문인 것으로 분석된다.

Car 2를 제외한 다른 두 차량의 몸통 상해 위험은 모두 Good 등급에 해당하는 것으로 나타났다.

Table 7 Torso injury measure

Parameter	IARV	Car 1		Car 2		Car 3		
		D	R	D	R	D	R	
Rib deflection max. (mm)	N/A	39.3	35.0	40.3	50.7	34.4	38.5	
Rib deflection average (mm)	34	29.2	29.8	29.9	33.5	30.0	30.1	
Deflection rate (m/s)	8.20	rib1	1.95	2.58	4.77	2.97	2.72	2.52
		rib2	4.48	3.48	5.37	2.91	2.96	2.32
		rib3	6.07	4.85	4.97	2.34	3.16	3.16
		rib4	4.10	2.19	2.82	4.78	2.92	2.42
		rib5	3.51	2.18	3.59	4.74	3.25	1.96
V*C (m/s)	1.00	rib1	0.20	0.43	0.77	0.36	0.41	0.42
		rib2	0.21	0.46	0.89	0.35	0.42	0.47
		rib3	0.38	0.51	0.69	0.30	0.43	0.43
		rib4	0.66	0.29	0.28	0.97	0.33	0.28
		rib5	0.27	0.28	0.37	0.68	0.41	0.17

3.3 골반과 다리 상해 위험도

Table 8은 각 시험차량에 탑재한 더미의 골반과 다리상해 위험도를 나타내며, Car 1 운전석에 탑재한 더미 대퇴부 모멘트가 261.2Nm로 나타났는데 이는 Acceptable에 해당하는 값이다. Car 1을 제외한 두 차량의 골반과 다리 부상위험은 모두 Good 등급에 해당하는 것으로 나타났다.

Table 8 Femur and leg injury measure

Parameter	IARV	Car 1		Car 2		Car 3	
		D	R	D	R	D	R
Acetabulum force (kN)	4.0	2.46	0.24	3.32	1.99	1.39	0.53
Ilium force (kN)	4.0	2.29	1.88	3.03	2.71	1.87	2.66
Acetabulum and ilium force (kN)	5.1	4.53	1.81	5.10	4.38	3.23	3.04
Femur A-P force (kN)	±3.9	0.14	0.17	0.20	0.28	0.17	0.15
Femur L-M force (kN)	±3.9	0.91	0.62	0.94	0.70	1.21	0.80
Femur A-P bending M (Nm)	±356	261.2	111.1	235.2	68.8	151.4	129.9
Femur L-M bending M (Nm)	±356	38.4	38.4	25.76	50.71	20.4	31.9

3.4 차체 구조 안전도

차체 구조 안전도는 Table 9와 같이 충돌 후 B 필라와 운전석 시트 중심선까지의 거리를 측정하여 결정하며, 이격공간이 클수록 좋은 등급을 받는다.

Fig. 1에 나타난 Car 1의 충돌 후 B 필라에서 운전석 중심까지의 거리는 12.5cm로 Good, Fig. 2에 나타난 Car 2는 9.0cm로 Acceptable 그리고 Fig. 3에 나타난 Car 3는 13.5cm로 Good등급에 해당한다.

충돌 후 B 필라에서 운전석 중심까지의 거리는 더미 상해치와 연관이 있는 것으로 나타났다. B 필

Table 9 Vehicle intrusion measure

Parameter	Good	Car 1	Car 2	Car 3
B pillar to driver seat centerline (cm)	12.5 이상	12.5	9.0	13.5
Structural failure	No structural failure			

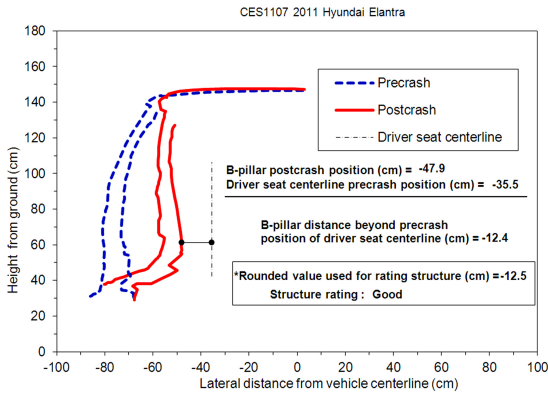


Fig. 1 Car 1 Intrusion measure

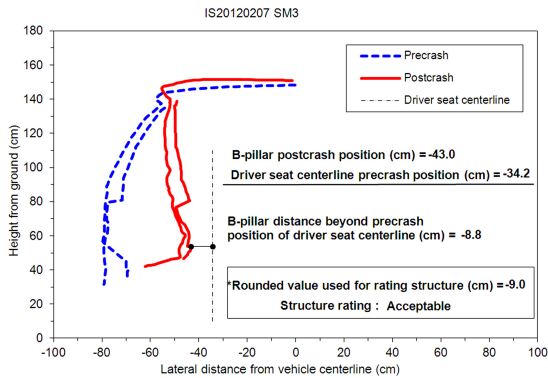


Fig. 2 Car 2 Intrusion measure

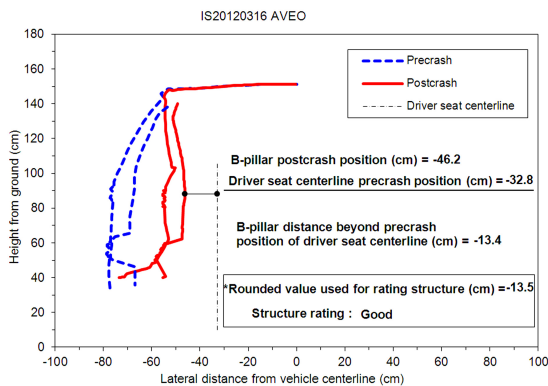


Fig. 3 Car 3 Intrusion measure

라에서 운전석 중심까지의 거리가 13.5cm인 Car 3의 더미 상해치는 Good이고 12.5cm인 Car 1의 골반 상해 등급은 Acceptable, 9.0cm로 가장 짧은 Car 2의 몸통 상해 등급은 Marginal로 나타났다.

이러한 결과로 미루어 볼 때 충돌 후 B 필라에서

운전석 중심까지의 거리가 13.5cm 이상일 때 충돌 시 B 필라 침입량이 더미 상해치에 영향을 미치지 않는다는 사실을 유추할 수 있다.

4. 결론

1,500kg의 배리어가 50km/h의 속도로, 정지하고 있는 소형승용차량의 좌측면을 충돌하는 측면충돌 시 탑승자 보호성능 평가시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 2012년 현재 국내에서 판매되고 있는 승용차량의 평균 공차중량은 경차 947kg, 소형 1,177kg, 중형 1,458kg, 대형 1,730kg 그리고 SUV는 1,892kg으로 평균 약 1,600kg으로 나타났으며, 현재 국내의 차량 측면 안전성을 평가하기 위한 KNCAP의 측면충돌 배리어 중량 950kg은 이러한 변화된 자동차 시장 상황을 적절히 반영하지 못하는 것으로 KNCAP 측면안전성 평가기준의 강화가 필요한 것으로 분석된다.
- 2) IIHS의 측면충돌 시 탑승자 보호성능 평가 기준에 따라 소형 승용차량 3대를 평가한 결과 한 대는 Acceptable, 두 대는 Good 등급으로 나타났다. 이러한 결과는 시험차량 모두 몸통과 머리를 보호할 수 있는 측면 에어백이 장착되었기 때문으로 판단된다. 머리와 몸통을 모두 보호할 수 있는 에어백의 장착을 통해 사망 위험이 37% 감소 (IIHS Status Report, 2006)⁷⁾ 한다는 연구결과는 이러한 사실을 설명해 준다. 2011년 현재 우리나라 경차의 측면에어백 장착률은 31.3%, 소형 차량은 75.0%로 중형 차량의 88.6% 및 대형 차량의 91.0%에 비해 낮은 편이다. 실제 측면충돌 사고에서 탑승자의 부상위험을 낮추기 위해서는 측면 에어백 장착을 의무화하는 등의 노력이 필요한 것으로 판단된다.
- 3) 충돌 시 B필라의 침입량이 증가할수록 탑승자의 상해위험이 증가하는 것으로 나타났다. 충돌 후 B 필라와 운전석 중심선까지의 거리가 13cm 이상일 경우에는 B 필라 침입량이 탑승자 상해위험에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 충돌 에너지 흡수경로(Load Path)의 다원화 및 고장력 강판의 사용 등을 통한 충분한 차체강성 확보를

통해 차량의 측면 충돌 시 탑승자 보호성능을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

References

- 1) Korean National Police Agency, Statistics on Traffic Accident, pp.40-50, 2012.
- 2) IIHS, Side Impact Crashworthiness Evaluation Crash Test Protocol, pp.2-16, 2008.
- 3) IIHS, Side Impact Crashworthiness Evaluation Guidelines for Rating Injury Measures, pp.2-6, 2008.
- 4) E. R. Teoh and A. K. Lund, "IIHS Side Crash Test Ratings and Occupant Death Risk in Real World Crashes," The 22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), pp.1-9, 2011.
- 5) IIHS, IIHS Side Impact Test Program Rating Guidelines, pp.2-20, 2006.
- 6) D. Y. Kim, H. J. Chang, C. S. Lee, C. H. Kim, J. W. Lee and G. H. Kim, "A Study on Dummy Injury Parameters Characteristics in Side Impact Safety Evaluation Using the AE-MDB," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.972-979, 2012.
- 7) Insurance Institute for Highway Safety, Status Report, Vol.41, No.8, 2006.