

FWDB 정면충돌시험에 대한 연구

김요섭·범현균*

GM대우오토엔테크놀로지 차량충돌시험팀

Study on FWDB Frontal Vehicle Crash Test

Joseph Kim · Hyenkyun Beom*

Vehicle Crash Test Team, GM Daewoo Auto&Technology Co., 199-1 Cheongcheon-dong,
Bupyeong-gu, Incheon 403-714, Korea

(Received 15 September 2009 / Accepted 17 May 2010)

Abstract : In proportion to increasing interest in vehicle safety, many country have regulated vehicle safety and performed NCAP(New Car Assessment Program). However vehicles which had good results in these compliance and NCAP frontal crash test have caused problems such as the fork effect and over-riding in real car-to-car accidents. To complement these issues, new frontal crash test modes using new barrier like FWDB and PDB have been developed by EEVC WG15. In this paper, FWDB frontal crash test was performed and the result was compared with the full frontal crash test using the rigid wall in order to comprehend the characteristic of FWDB. The results of FWDB test were compared with one of USNCAP and KNCAP. Using USNCAP data, vehicle performance like deformation and wall force were studied. A comparative study of dummy injuries was made by using KNCAP result. The results showed that vehicle performance of FWDB test like displacement and effective acceleration was similar in spite of absorbing energy of FWDB due to the greater vehicle deformation of rigid wall test. In FWDB test, driver dummy head bottomed out but most of injuries were superior to the injury of rigid wall test.

Key words : Frontal vehicle crash test(정면충돌시험), FWDB(전체변형벽), LCW(로드셀벽), Injury index(상해치), USNCAP(미국신차안전도평가프로그램), KNCAP(한국신차안전도평가프로그램), Self protection(충돌자 안전), Partner protection(상대차량탑승자안전), Aggressivity(충돌공격성), Compatibility(충돌상호적합성)

Nomenclature

- m : mass of vehicle, kg
- F : force, N
- v : velocity of vehicle, m/s

Subscripts

- 0 : initial time
- b : barrier
- v : vehicle

1. 서론

해마다 증가하는 교통사고로 많은 인적, 물적 손실이 발생하여, 소비자들의 안전한 차에 대한 관심이 커져가고 있다. 이러한 소비자들의 요구를 충족시키기 위해, 각 나라에서는 법규로 자동차 충돌안전에 대한 최소한의 규제를 하고 있으며, 소비자들이 안전한 차를 구매할 수 있도록 신차안전도 평가 프로그램(NCAP, New Car Assessment Program) 제도를 활용하고 있다.¹⁾

하지만 안전법규시험이나 NCAP시험의 시험장에서 정형화된 시험 결과는 실제 도로상의 정면 충

*Corresponding author, E-mail: hyenkyun.beom@gmdat.com

돌현상을 반영하지 못하는 경우가 많다. 즉, 현재의 충돌 시험조건들은 충돌자안전(self protection)에 초점이 맞춰져 있으며, 충돌자 안전을 향상시키기 위하여 차량의 전면부 보강을 유도하여, 상대차량의 탑승자 안전(partner protection)을 위협함으로써, 차량충돌 공격성(aggressivity)이 문제점으로 야기되었다. 이를 보완하기 위해 EEVC WG15에서는 FWDB(Full Width Deformable Barrier)와 PDB(Progressive Deformable Barrier)시험을 개발하고 있다.^{2,3,8)}

본 연구에서는 현재 생산되는 차량으로 정면충돌 상호적합성(compatibility) 개발시험의 하나인 FWDB 정면충돌시험을 수행하였고, 그 결과를 현재 완전 정면충돌 시험방법인 KNCAP과 USNCAP 시험과 비교를 하였다. FWDB 시험은 차량의 40%를 변형벽에 충돌시키는 유럽 법규나 EuroNCAP 정면충돌 시험과 달리 차량의 전체가 변형벽에 충돌을 하기 때문에 차량의 전체 폭이 충돌하는 고정벽 정면충돌 시험을 선택하여 비교를 수행하였다. 비교 분석을 통하여 현재 양산되는 차량의 FWDB에 대한 충돌특성을 파악하고, 고정벽 정면충돌 시험과의 차이 비교에 의한 FWDB의 영향도 평가로 향후 차량개발에 도움을 주고자 한다.

2. FWDB 정면충돌시험

FWDB 정면 충돌 시험에서는 Fig. 1에서와 같이 56 km/h의 속도로 차량을 건인하여 변형벽에 차량의 전체면을 충돌시킨다.⁴⁾

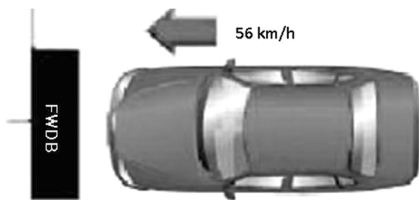
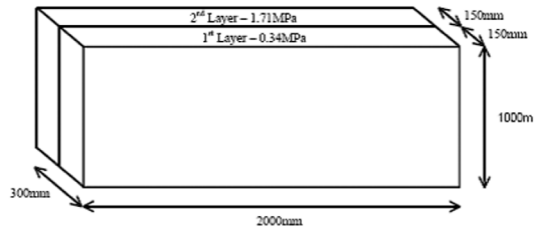


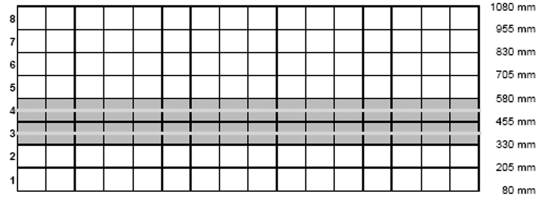
Fig. 1 FWDB frontal vehicle crash test configuration

2.1 FWDB와 LCW

FWDB의 크기 및 특성은 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)에 나타났듯이 FWDB는 2000 mm×1000 mm×300 mm(W×H×D)의 크기를 가지며, 0.34 MPa의 crush strength를 가지는 앞쪽 요소와, 1.71 MPa의



(a) FWDB



(b) LCW

Fig. 2 FWDB & load cell wall(LCW) configuration

crush strength를 가지는 뒤쪽 면으로 되었다.

FWDB뒤로 LCW(Load Cell Wall)을 설치하는데, Fig. 2의 (b)와 같이 로드셀을 가로로 16개 세로로 8개, 총 128개의 로드셀 벽을 구성한다. 하나의 로드셀은 125 mm × 125 mm의 크기를 가진다. 측정된 힘의 분포로부터 상대차 보호를 평가하게 된다. 하지만 아직 정확한 평가기준이 결정되지는 않은 상태이다.

2.2 시험방법 및 평가항목

FWDB 정면충돌 시험에서 사용되는 인체모형은 50th %-ile Hybrid III이며, 운전석과 조수석에 착석시킨다. 이때 ECE R.94의 annex 5에 명시된 대로 더미를 착석시킨다. 이 인체모형에 장착된 센서로부터 상해치를 얻어 내고, R. 94와 같은 방법으로 승객 보호에 대한 평가를 한다.⁵⁾

로드셀 데이터로 상대차 보호에 대한 평가를 하여야 하나, 본 연구에서는 FWDB 정면충돌용 LCW를 구비하지 못한 관계로 USNCAP 정면충돌 시험용 LCW에 FWDB를 부착하여 충격하중을 측정하였다. 따라서 상대차 보호에 대한 평가는 수행할 수 없었다. USNCAP 정면충돌 시험의 LCW에 FWDB를 부착하여 시험한 모습을 Photo. 1에 나타내었다.

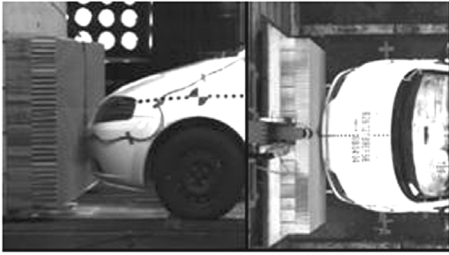


Photo. 1 LCW for USNCAP and FWDB

3. 충돌시험 결과 비교 분석

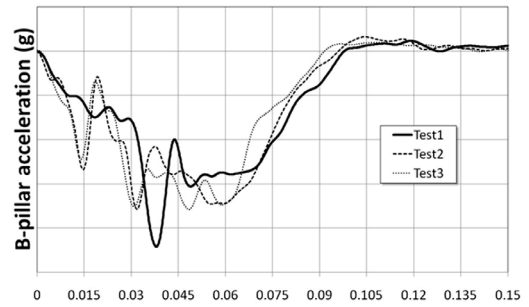
FWDB 정면충돌시험에서 차량의 성능 및 고정벽 정면충돌과의 결과 차이를 알아보기 위해 USNCAP 과 KNCAP 시험 결과를 각각 비교하였다. 비교되는 차량을 Table 1에 나타내었다. Test1은 FWDB 정면 충돌 시험이고, test2는 USNCAP 정면충돌 모드의 시험이다. 마지막으로 test3은 KNCAP 정면 충돌 시험이다. USNCAP 시험은 본 FWDB 정면충돌 시험에 쓰인 LCW를 사용하였기 때문에 FWDB의 차량에 대한 영향을 로드셀 데이터를 통하여 비교해 보기 위해 선정을 하였으며, KNCAP은 test1과 같은 restraint system을 사용한 시험으로, 더미거동이나 상해치를 비교 분석하기 위해 선정하였다. Test1과 test2는 차량의 연식은 다르지만, 차량 플랫폼이 같고 엔진의 크기는 동일하였다. Test3은 test1과 동일 모델의 차량이나, 엔진배기량은 다르나 외관은 거의 동일하다. 이러한 차이점은, 동일 플랫폼 차량의 FWDB 충돌 특성을 파악하는데 있어 영향은 적을 것이라고 판단을 하였다.

Table 1 Test vehicle condition

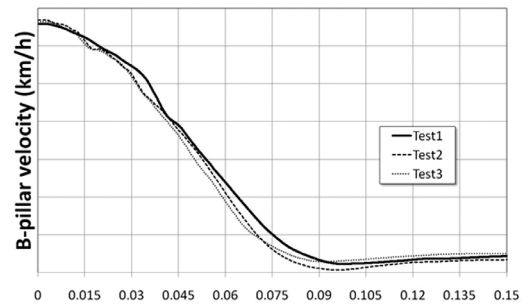
	Test1	Test2	Test3
Barrier	FWDB+LCW	LCW	Plywood wall
Protocol	FWDB	USNCAP	KNCAP
Curb weight	1100 kg	1171 kg	1096 kg
Test weight	1300 kg	1431 kg	1282 kg
Speed	55.9 km/h	56.9 km/h	56.5 km/h
Init. Energy	156,723 Nm	178,743 Nm	157,888 Nm
Belt LL	CLL	DLL	CLL
Airbag	Conventional	Advanced	Conventional

3.1 차량변형 분석

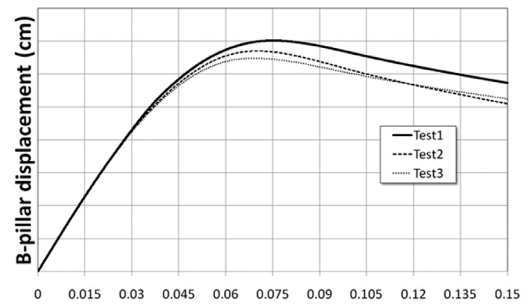
차량에 의한 에너지 흡수를 보기 위하여 차량변



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Vehicle B-pillar pulse

형과 LCW 데이터를 분석하였다. 먼저 Fig. 3(a)와 (b)에서 보면 test1에서 FWDB의 영향에 의해 초기 감속이 작게 일어났다. Photo. 2에 보여지는 것처럼 test1의 시험에서는 차량의 longitudinal member가 FWDB를 완전히 관통하였음에도 불구하고 고정벽 시험과 차량 변위를 비교 하였을 때 Fig. 3(c)에 보여 지듯이 test1의 변위 기준으로 4.4% 정도만의 차이를 보였다. 차량의 변형을 보기 위하여 차량하부 영

Table 2 Vehicle performance

	Unit	Test1	Test2	Test3
Initial velocity	km/h	100%	102%	101%
Rebound velocity	km/h	100%	121%	94%
Rebound time	ms	100%	98%	93%
Velocity change	km/h	100%	104%	100%
Dynamic cursh	mm	100%	96%	93%
Zero cross time	ms	100%	93%	92%
Effective crush	mm	100%	104%	94%
Effective Acc.	g	100%	104%	107%

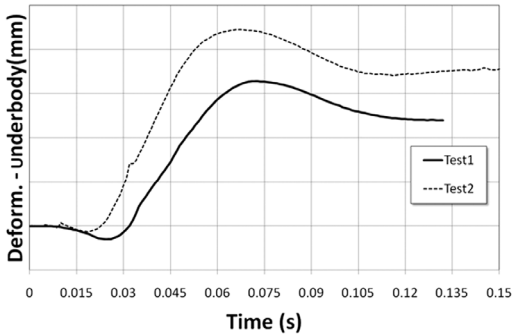
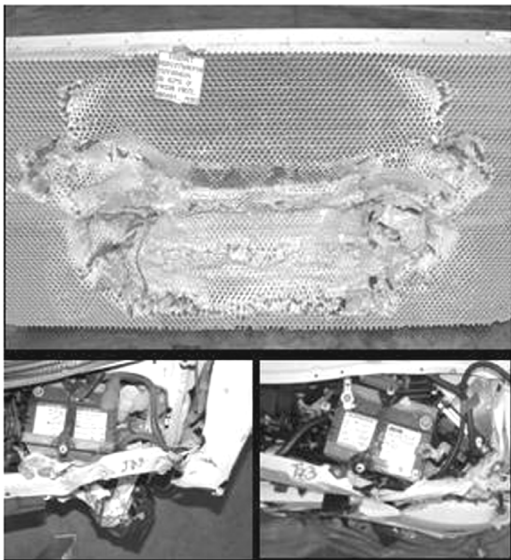


Fig. 4 Deformation between body and transmission



(a) Test1 (b) Test2

Photo. 2 Deformation of FWDB & longitudinal members

상을 모션 분석한 Fig. 4에서 나타난 것처럼 엔진/미선부분부터 차체까지의 변형이 고정벽 시험에서 크게 나타났다. 또한 Photo. 2에서 보듯이 test1에서는

차량의 longitudinal member의 변형이 적게 일어났다. FWDB정면 충돌시험에서 이러한 변형특성은 실제 차대차 사고의 변형 모드와 유사하다는 것이 알려진 바 있다.⁶⁾

Table 2에서 볼 수 있듯이 차량의 변위가 test1과 유사하기 때문에 test2와 test3의 차량에 대한 성능이 비슷하게 계산이 되었다.

3.2 LCW 데이터 분석

FWDB 정면충돌 시험에서는 로드셀의 하중데이터분포로 상대차 보호에 대한 평가를 하지만 본 시험에서는 FWDB 정면충돌시험에 사용되는 LCW를 사용하지 않았기 때문에 그 항목에 대한 평가는 할 수 없었다. 따라서 고정벽 정면충돌의 LCW 하중 데이터와 비교하여 FWDB가 차량에 미치는 영향을 분석하였다.

Fig. 5와 같은 로드셀 데이터에서 식 (1)과 같은 운동량 방정식을 이용하여 실제 pushing mass를 구하여 Fig. 6에 나타내었다.⁷⁾ 식의 특성상 속도가 0이 될 때 특이점이 나타난다. Pushing mass의 변화를 살펴보면 test2의 경우 초기 1431 kg에서 1028 kg으로 변화하여 403 kg 감소하였다. Test1의 경우는 412 kg 감소하였고, FWDB가 있음에도 불구하고 test2와 차이가 적었다. 이로써 test2에서 차량의 변형이 많이 되었음을 확인할 수 있었다.

Fig. 7에 에너지와 변위의 그래프를 나타내었다. Fig. 6의 Pushing mass에서 특이점부분을 선형 보간을 이

$$m_v(t) = \frac{m_0 \times v_0 + \int_0^t F_b(t) dt}{v(t)} \quad (1)$$

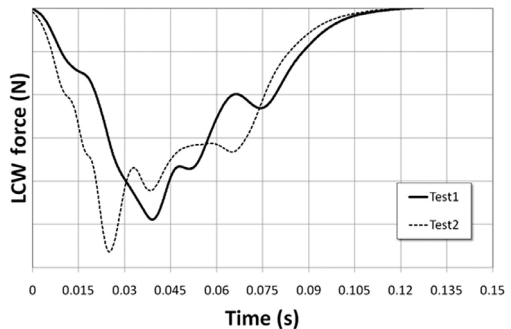


Fig. 5 Comparison of load cell data

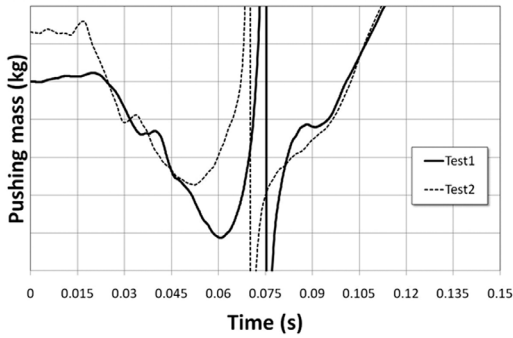


Fig. 6 Pushing mass variation

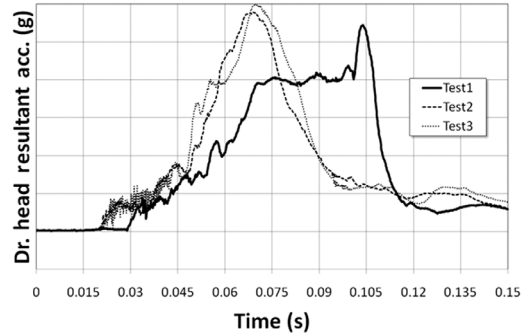


Fig. 8 Resultant acceleration of driver head

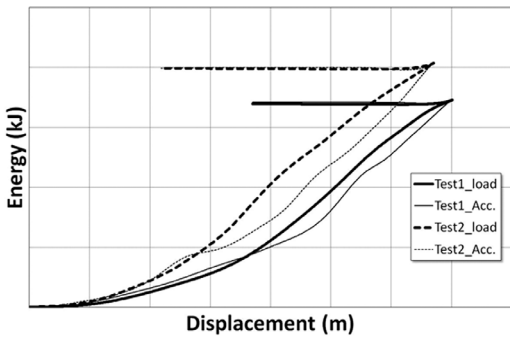


Fig. 7 Energy plot from loadcell data & acceleration data

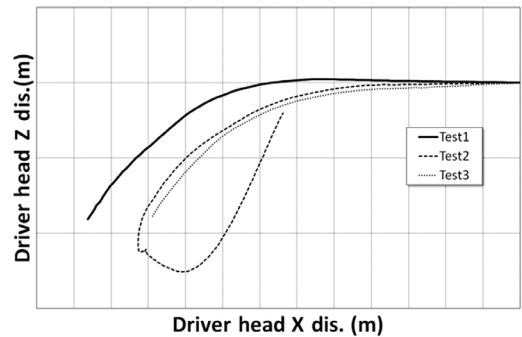


Fig. 9 Movement of driver head

용하여 다시 그래프를 만들고 로드셀 데이터의 힘-변위 곡선, pushing mass에 의한 힘-변위 곡선에서 에너지를 계산하여 비교하였다. Test2의 그래프와는 달리 test1에서는 로드셀 데이터로 얻은 그래프가 초기부터 0.35 m구간에서 더 작게 나타난다. 그 구간에서 FWDB의 변형에 의하여 에너지가 흡수되고 있음을 알 수 있고, 그 값은 약 40 kJ정도이다.

3.3 인체모형 상해치 비교

FWDB 정면충돌 시험과 고정벽 정면 충돌시험에서의 인체모형의 상해치를 비교하였다. 이 비교를 통하여 FWDB 시험에서의 상해치 결과가 어느 수준인지 보고자 하였다.

Test1의 시험에서 운전석 인체모형이 차량의 뒤쪽으로 약간 더 가서 앉아 있게 되어, 인체모형 코에서 조향핸들까지의 거리나 흉부에서 조향핸들의 거리가 Test3과 비교해 각각 33 mm, 24 mm 씩 확보되었다.

인체모형의 머리부분의 거동을 Fig. 9에 나타내

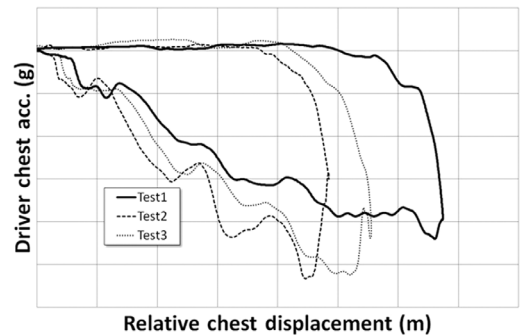


Fig. 10 Driver dummy chest AD curve

었다. 차량에 대한 머리의 움직임이 Test1에서 크게 나타났고 이로 인하여 머리부분의 bottom-out현상이 생기게 되었다. 이는 에어백이나 벨트의 작동시간이 늦어진 결과로 판단된다.

흉부의 거동을 보기 위하여 흉부가속도 데이터를 적분하여 Fig. 10에 나타내었다. 흉부 부위의 거리가 확보된 것을 그래프에서도 알 수 있으며 이것으로 인하여 흉부가속도의 값이 다른 시험에 비해 작게 나온 것으로 판단된다.

Table 3 Dummy injury value

	Test1	Test2	Test3
Driver			
HIC36	100%	100%	121%
Head 3ms	100%	114%	117%
Chest G	100%	123%	121%
Chest comp.	100%	118%	113%
LH femur	100%	267%	126%
RH Femur	100%	154%	93%
Passenger			
HIC36	100%	91%	79%
Head 3ms	100%	98%	110%
Chest G	100%	98%	105%
Chest comp.	100%	112%	129%
LH femur	100%	181%	127%
RH Femur	100%	129%	81%

인체모형의 주요 상해치를 Table 3에 표시하였다. 상해치의 경우 R.94의 기준에 모든 시험에서 만족을 하였고, 특히 test1의 경우 다른 시험에 비하여 운전석에서 상해치가 적게 나왔다. 차량의 성능 지표가 고정벽 시험과 비슷했지만, FWDB 시험에서는 차량의 변형이 적었기 때문에 전반적인 상해치가 좋은 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 새로이 수행될 FWDB 정면충돌 시험에 대하여 기존의 고정벽 충돌시험과 비교 분석을 하였다. 동일한 플랫폼을 가지는 차량의 시험 중, LCW의 데이터가 있는 USNCAP 시험으로 차량의 변형 및 에너지 등을 비교하였고, 동일한 구속장치를 가지고 있는 KNCAP 시험을 통하여 더미의 거동 및 상해치를 비교하였다.

FWDB 시험을 수행한 test1에서, FWDB가 차량의 longitudinal member에 의한 bottom out이 일어났으나, 차량의 변형은 고정벽 시험인 test2에 비해 적게 일어났다. 이로 인한 차량의 변위의 차이가 적게 나타났다. 또한 차량의 변위화 함께 차량의 성능을 나타내는 Effective Acceleration도 차이가 적었다. 이것은 LCW의 데이터와 차량의 B-pillar 가속도 센서의 데이터로부터 얻어진 pushing mass를 비교하여 보았을 때, 그 감소량이 초기 대비 test1은 412 kg(31.7%),

test2는 403 kg(28.2%)로, FWDB가 있음에도 불구하고 두 시험의 질량변화 차이가 적어 test2에서 차량의 변형이 컸음을 확인할 수 있었다.

FWDB 시험과 고정벽 시험의 에너지를 비교하여 보았을 때 FWDB 시험에서, 차량의 변위가 0.4 m가 될 때까지 로드셀에 의한 에너지가 적게 나오는 것을 확인하였고, 그에 상응하는 에너지를 FWDB에서 흡수한 것으로 보인다.

인체모형의 상해치를 비교하였을 때, 운전석의 에어백의 작동시간이 늦어짐에 따라 인체모형의 차량방향의 거동이 커졌다. 이에 따라 머리의 bottoming-out 현상이 생겼지만 전반적인 상해치의 값은 좋아 졌고, 특히 흉부압박량에서 FWDB 정면 충돌 시험이 가장 적었다. 이는 차량의 변형과 관계가 있는 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 2008년 11월 정기 학술대회 발표내용 (pp.1579-1584)을 수정하여 게재함.

References

- 1) J. W. Bae and J. H. Yim, "CAE Modeling for Correlating the High Speed front Crash Test," Fall Conference Proceedings, Vol.3, KSAE, pp.1372-1377, 2007.
- 2) M. Edwards, A Study to Improve the Crash Compatibility between Cars in Frontal Impact, TRL, 2002.
- 3) P. Delannoy, J. Faure, D. Coulombier, R. Zeitouni and T. Martin, "New Barrier Test and Assessment Protocol to Control Compatibility," SAE, Vol.1, No.1171, 2004.
- 4) Full Width Deformable Barrier Test and Assessment Protocol, V3.0, TRL, 2007.
- 5) Frontal Collision Protection, E.C.E, R94, 2008.
- 6) S. Takizawa, E. Higuchi, T. Iwabe, T. Sugimoto, T. Kisai and T. Suzuki, "Experimental Evaluation of Test Procedures for Frontal Collision Compatibility," SAE, Vol.1, No.1162, 2004.
- 7) E. Fossat, "Mathematical Models to Evaluate Structural Forces in Frontal Crash Tests," 14th

International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicle, SAE 94-S8S8-O-04, pp.1320-1333,1994.

“Compatibility for Proposed R.94 PDB Test,” Transactions of KSAE, Vol.18, No.3, pp.149-155, 2010.

8) E. J. Jang, J. Kim, H. K. Beom and S. E. Kwon,