

방호울타리의 충돌해석에 관한 연구

민한기*, 정종안⁺, 김택⁺⁺, 국진선⁺⁺⁺

(논문접수일 2011. 08. 08, 수정일 2011. 09. 14, 심사완료일 2011. 09. 24)

A Study on The Crash Analysis of Guard Rail

Han-Ki Min*, Jong-An Jung⁺, Taeg Kim⁺⁺, Jin-Seon Gook⁺⁺⁺

Abstract

In guard rail crashes, the development of guard rail structure to ensure the maintenance of safety for passengers is very important. So, this paper focuses on understanding the possibility of efficient structural development considering crash strength of guard rail through computer simulation using the commercial code, LS-DYNA3D at the initial stage of guard rail development. For this study, guard rail structure was modeled using shell elements to represent major structural members and passenger car was modeled using plate elements of simple shape to do not have the drawing, and impact boundary conditions required by regulation was applied. In order to confirm the validity of the computational results, they were compared with the test results.

Key Words : Guard Rail(방호울타리), Crash Strength(충돌강도), Computer Simulation(모의실험), LS-DYNA3D(충돌해석용 프로그램), Initial Stage(초기단계)

1. 서론

항공기 사고나 선박 사고, 열차사고와 같은 대형 사고는 신문 방송과 같은 언론매체의 집중적인 관심을 받게 마련이다. 그러나 총 교통사고의 거의 95%에 달하는 사고는 다름 아닌 고속 도로를 포함한 각종 도로에서 일어나고 있다. 이러한 사고를 방지할 수 있는 대안으로는 도로자체의 개량과 운전자에 대한 교육 등이 필수적이지만 또 한 가지 빠뜨릴 수 없는 것이 차량 방호 안전시설에 대한 고려이다. 최근 들어 국민들의 교통의식 향상과 생활수준이 높아져 사고발생시 차량방호 안전시설의 문제점을 지적하며 도로관리 주체를 상대로 소송을 제기하는

경우가 잦아 도로관리 주체뿐만 아니라 관련 학계에서는 방호 시설의 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻³⁾. 그 중에서도 가장 많이 설치되어 활용되고 있는 중앙분리대용 방호울타리(이하, 방호울타리)의 충돌시 안전성에 대한 연구가 매우 중요하게 되었는데, 이러한 방호울타리의 연구는 제작업체들이 주로 중소기업으로 국한되어 있는 관계로 실험을 통한 연구가 대부분을 차지하고 있다⁽⁴⁾. 그러나 개발초기 단계에 실험에 의한 방호울타리를 개선하는 것은 비용과 시간 측면에서 매우 비효율적이다. 따라서 몇몇의 우수한 제작업체에서는 컴퓨터를 활용한 제작품의 개발이 개발기간의 단축뿐만 아니라 비용절감 측면에서도 매우 효율적인 방법이라는 인식이 반영되어 컴퓨터

* 성화대학교 항공계열 항공정비학과
+ 교신저자, 송원대학 자동차과(jungja@songwon.ac.kr)
주소: 503-742 광주광역시 남구 송암로 73
++ 전남과학대학 특수장비과
+++ 한려대학교 방사선학과

터를 활용한 연구가 활발히 이루어지고 있다⁽⁵⁻⁸⁾.

본 연구에서는, 방호울타리를 대상으로 하여 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 차량의 충돌해석 기술을 확립하기 위해 관심대상인 방호울타리를 셀요소로 상세처리 하였으나 차량의 경우는 가드레일 제작업체에서 설계도면을 보유하고 있지 못해 차량의 형상을 단순화한 모델을 사용하여 해석을 수행하였다. 해석 모델은 레일의 재질과 연결대의 노치 홈에 의해 분류된 모델 4개를 완성하여 방호울타리 성능에 대한 평가를 수행하였으며 또한 그 결과를 실차실험의 결과와 비교하였다.

2. 방호울타리 충돌시험

2.1 실험장치 및 방법

실차에 의한 방호울타리의 충돌시험은 “도로안전시설 설치 및 관리지침”(차량방호안전시설편, 2001)⁽⁹⁾에 따라 실물차량 충돌시험(Fig. 1)이 수행되어야 하고, 성능평가 결과를 공인받기 위해서는 건설교통부가 지정한 도로안전시설 성능평가 기관에서 성능시험이 실시되어야 한다. 본 연구의 충돌시험은 건설교통부로부터 도로안전시설물 성능시험기관으로 지정받은 한국도로공사 교통기술원에서 도로안전시설 설치 및 관리지침에 의해 수행되었다. Photo. 1은 실험대상 차종인 승용차를 방

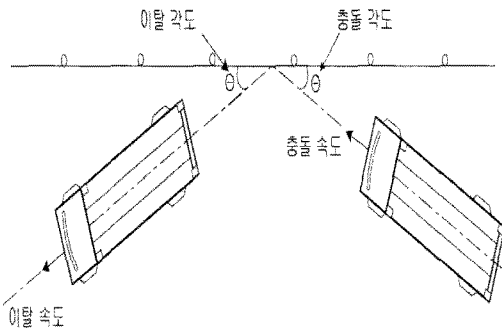


Fig. 1 Test apparatus of regulation

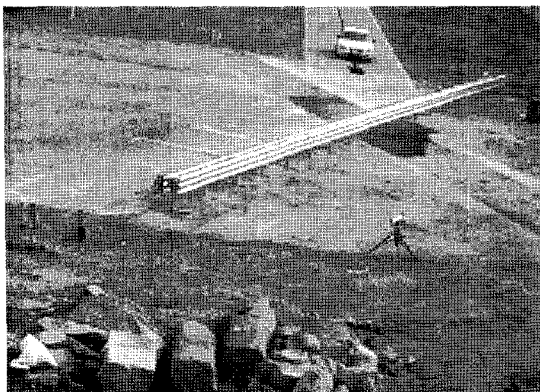


Photo. 1 Crash test of passenger car

호울타리에 충돌속도와 충돌각도를 각각 80km/h, 20° 로 하여 충돌하고 있으며, 충돌 후 이탈속도와 이탈각도를 측정하였다.

2.2 시험결과

충돌시험 결과(Photo. 2), 충돌 차량은 방호울타리에 충돌 후 가드레일을 통과하거나 가드레일의 하부 또는 상부로 진입하지 않으면서 전복되거나 급정지 하지 않고 원활히 유도되는 충돌거동을 보였다.

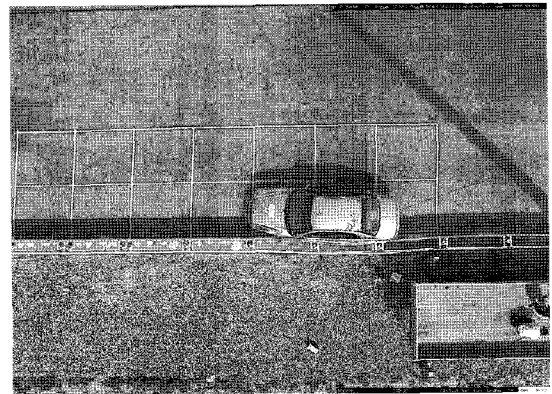


Photo. 2 Test result of passenger car

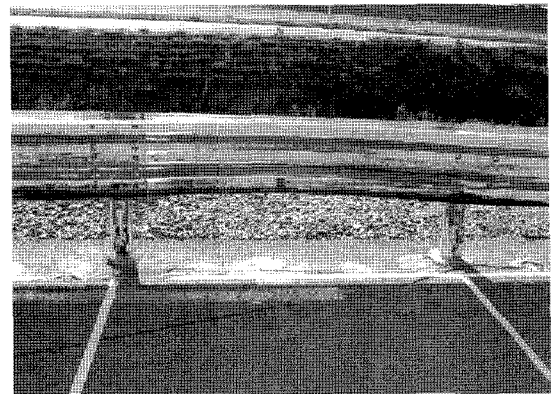


Photo. 3 Test result of rail and post

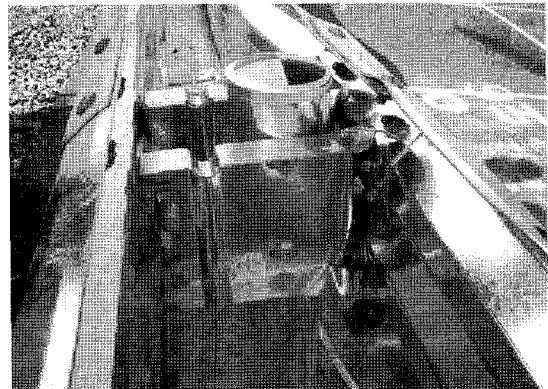


Photo. 4 Test result of connection component

차량의 이탈속도는 차량에 탑재된 기기에 의해 측정하였으며, 이탈각도는 가드레일과 충돌 후 차량의 진행방향이 이루는 각도로 측정하였다.

충돌 후 가드레일은 Photo. 3에서와 같이 레일과 지주가 변형을 하면서 차량의 진행방향을 이끌었으며 연결대는 Photo. 4에서와 같이 심하게 변형된 것을 볼 수 있었다.

3. 방호울타리 충돌해석

3.1 해석모델

충돌시험을 위한 실제 방호울타리 제작은 Photo 1과 같이 견고한 지반에 2.0m간격으로 원형지주를 타입하고 지주에 350mm길이의 연결대를 설치한 후 W형 빔과의 체결을 위해 볼트로 조립하는데, 충돌시험을 위한 방호울타리 시험체의 설치길이는 48m이다. 이러한 방호울타리 설치물에 차량의 충돌을 시뮬레이션 하기 위한 충돌해석 모델은 48m 길이인 방호울타리 설치물의 모델링 규모가 크고 충돌 차량에 대한 데이터가 충분치 못해 상세한 해석모델에 의한 해석적 평가가 어려울 뿐만 아니라 복수의 개발대상 방호울타리 모델들에 대한 평가가 빠른 시간 내에 이루어져야 하므로 개발 방호울타리의 동역학적 비선형 충돌특성을 짧은 시간에 파악하기 위한 가능한 범위로서 단순모델에 대한 평가가 이루어져야 한다. 방호울타리 충돌해석의 단순모델은 Fig. 2와 같으며, 모델링 규모를 줄이기 위해 시험체의 25개 포스트 중 변형이 이루어지는 6개만을 모델에 적용하였으며, 충돌 차량 또한 형상을 단순화시켜 모델링 함으로써 모델링 시간 단축뿐만 아니라 컴퓨터 계산시간의 단축까지도 고려하였다. 충돌 시 방호울타리의 충돌특성을 지배하는 레일, 연결대 및 지주는 흡수에너지의 비교 평가를 위해 셸요소(shell element)로 상세 모델링 하였고, 반면에 흡수에너지가 상대적으로 적은 볼트류는 리지드요소(rigid element)를 사용하여 모델링하였다. 이러한 해석모델은 방호울타리 충돌

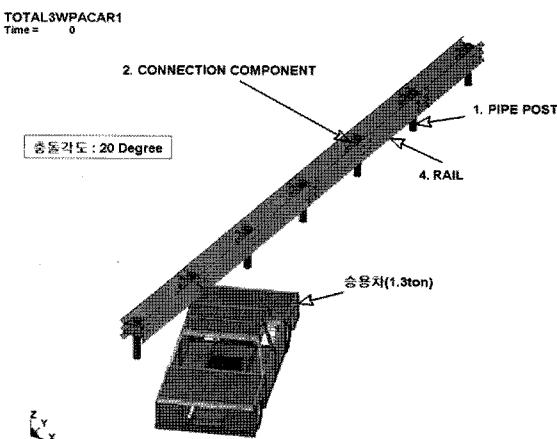
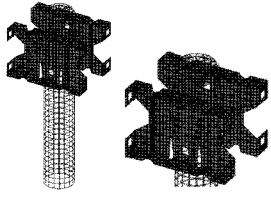
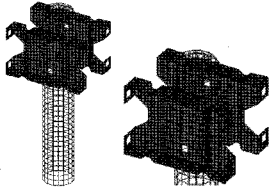


Fig. 2 Analysis Model

Table 1 Analysis Model Explanation

모델구분	레일재질	연결대 형상
모델1	ss400	주름과 노치가 존재 
모델2	saph45	
모델3	ss400	주름만 존재 
모델4	saph45	

시험에서 차량의 충돌 전·후 각도와 속도에 큰 영향을 미치는 레일의 재질과 연결대의 형상을 변수로 하여 표 1과 같이 구분하였다. 해석 모델 중에서 “모델 1”이 실차시험에 적용된 가드레일과 동일하도록 모델링되었다. 해석모델의 전체 규모는 137,384개의 요소와 140,265의 절점으로 구성되었다. 해석을 위한 경계조건은 지주의 밑면을 완전 고정하여 실차시험조건과 가능한 동일하게 적용하였다.

3.2 해석결과 및 고찰

이상과 같이 방호울타리의 충돌에 대한 해석모델을 완료하고 방호울타리에 충돌속도와 충돌각도를 각각 80km/h, 20°로 하여 충돌전용 해석프로그램인 LS-DYNA3D에 의해 해석을 수행하였다⁽¹⁰⁾. 해석결과로부터 얻어진 방호울타리의 전체적인 변형양상은 방호울타리의 전체에너지와 주요 구성부품들인 레일, 연결대 및 지주들의 흡수에너지 분포를 통하여 고찰하였고 해석모델 1의 이탈각도와 이탈속도는 실험결과와 비교하여 보았다.

3.2.1 변형양상의 비교

방호울타리의 충돌해석에 대한 해석결과를 살펴보면 차량이 레일과 충돌 후 40msec까지는 연결대, 지주 및 레일에서 동등 수준의 에너지를 흡수하였고, 40msec 이후부터는 주로 레일에서 에너지를 흡수하였으며 충돌 후 2번째 지주를 지나는 100 msec부터는 차량이 레일에서 이탈하는 양상을 보였다. Fig. 3은 해석모델 1의 방호울타리 충돌해석 결과를 실험결과와 시간(Time Step)별로 비교하여 나타내었는데, 비교 결과 전체적인 변형양상은 유사하였다.

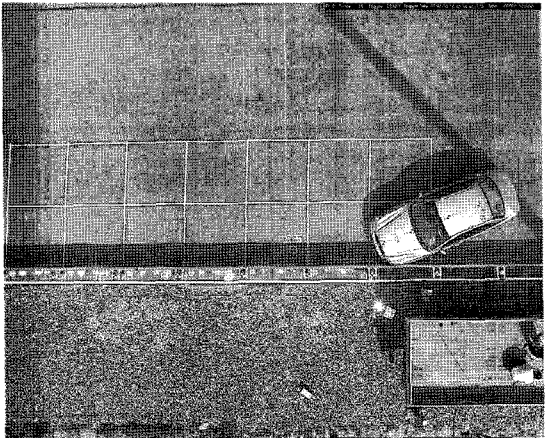
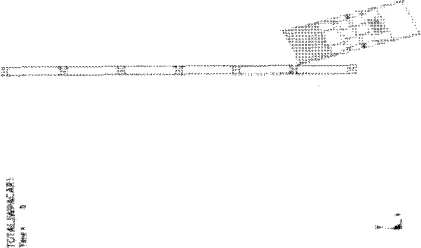
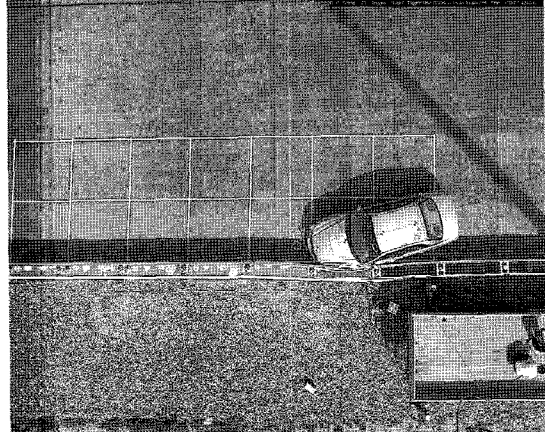
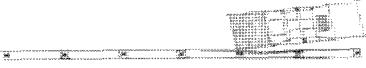
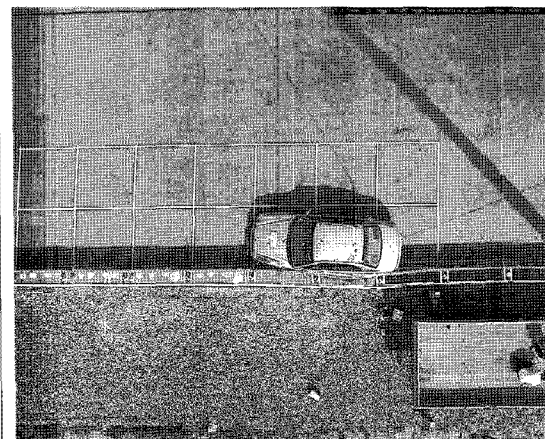
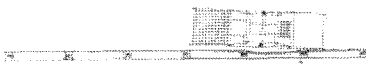
실 험 결 과	시 간	해 석 결 과
	<p>0 msec</p>	 <p>TOTAL DEFORMATION: 0mm</p>
	<p>100 msec</p>	 <p>TOTAL DEFORMATION: 0.117mm</p>
	<p>200 msec</p>	 <p>TOTAL DEFORMATION: 0.237mm</p>

Fig. 3 Deformation shapes of analysis model 1 according to the time step

3.2.2 충격에너지 흡수분포의 비교

충돌 시 방호울타리의 전체에너지와 변형양상에 영향을 주는 주요 구성부품의 흡수에너지는 Table2와 같으며 구성부품 흡수에너지의 크기는 모든 경우에서 레일, 연결대, 지주 순으로 나타났다.

방호울타리의 전체에너지는 Table 2와 Fig4~7에서와 같이

레일의 재료가 saph45인 모델2, 4가 ss400인 모델1, 3보다 각각 6.5%, 6.2% 적게 나타났다. 이는 가드레일의 인장강도에 의한 영향으로 판단된다. 그리고 접힘이 있는 연결대의 노치 홀에 의한 평가는 노치 홀이 있는 모델1, 2가 노치에 의한 국부적인 변형으로 노치가 없는 모델 3,4보다 각각 1.2%, 0.9% 크게 나타났다.

Table2와 Fig 8~11로부터 구성부품의 에너지를 살펴보면, 가드레일이 약 51%의 흡수에너지를 나타내고 있으며 연결대에서는 약 24% 그리고 지주에서는 약 19%를 나타내고 있다. 재료에 의한 가드레일의 흡수에너지 결과를 보면, 전체에너지

에서와 같이 재료의 인장강도에 의한 영향으로 saph45 모델이 ss400 모델보다 적은 에너지를 흡수하였다. 그리고 노치 홀에 의한 연결대의 흡수에너지 평가도 전체 에너지에서와 같이 노

Table 2 Total energy and absorption energy of part components

구 분	모델 1	모델 2	모델 3	모델 4
전 체 흡수에너지	4.776×10 ⁷ (29.8%)	3.734×10 ⁷ (23.3%)	4.594×10 ⁷ (28.6%)	3.587×10 ⁷ (22.4%)
레일 흡수에너지	2.537×10 ⁷ (53.1%)	1.869×10 ⁷ (50.1%)	2.395×10 ⁷ (52.1%)	1.749×10 ⁷ (48.7%)
연 결 대 흡수에너지	1.185×10 ⁷ (24.8%)	9.795×10 ⁶ (26.2%)	9.668×10 ⁶ (21.0%)	8.332×10 ⁶ (23.2%)
지 주 흡수에너지	8.093×10 ⁶ (16.9%)	6.892×10 ⁶ (18.5%)	9.380×10 ⁶ (20.4%)	7.738×10 ⁶ (21.6%)

※ 구성부품의 흡수에너지 Fig 8,9,10,11의 A,B,C는 각각 가드레일, 연결대, 지주의 구성부품을 나타낸다.

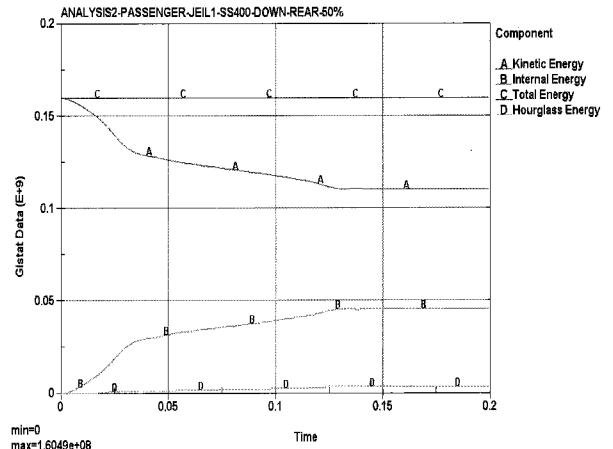


Fig. 6 Total energy of model 3

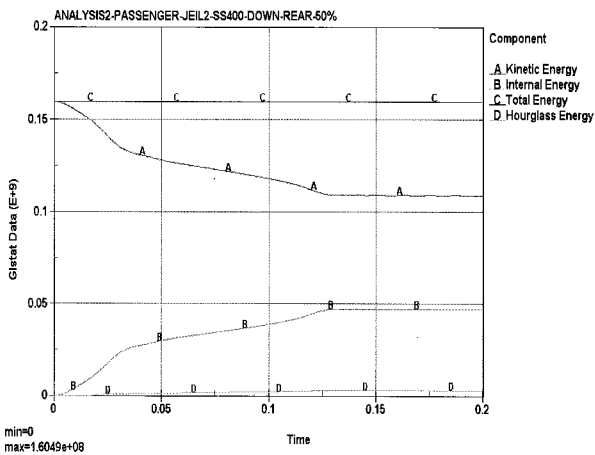


Fig. 4 Total energy of model 1

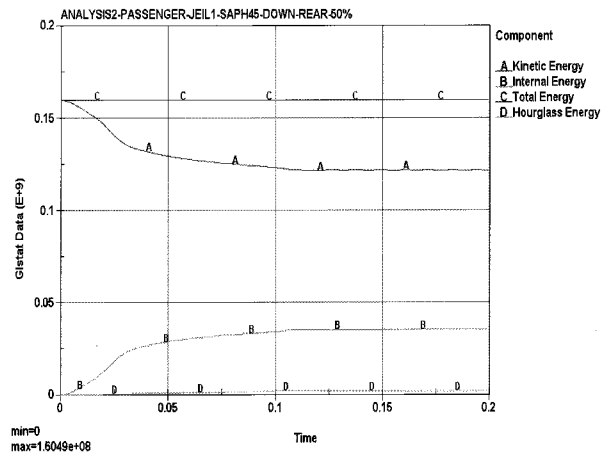


Fig. 7 Total energy of model 4

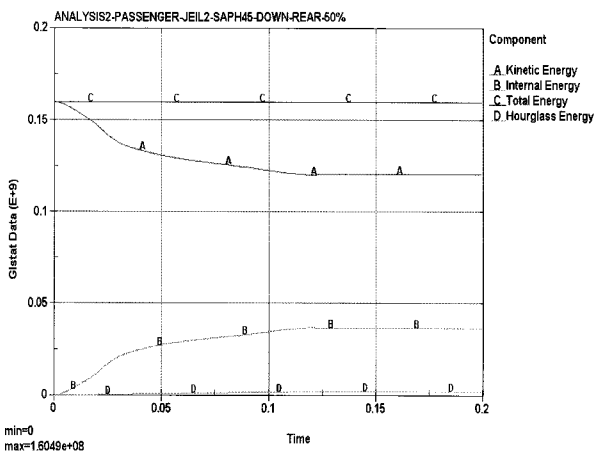


Fig. 5 Total energy of model 2

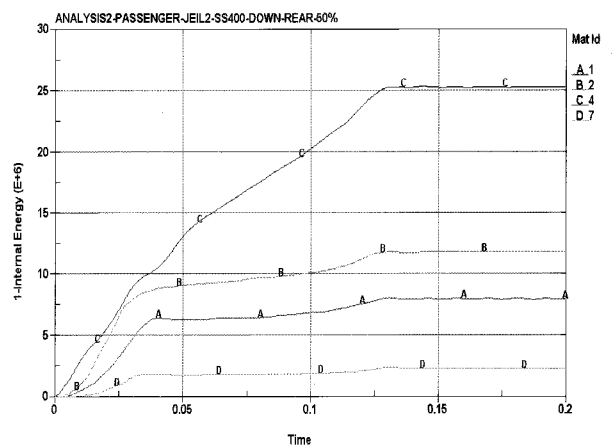


Fig. 8 Internal energy of model 1

치 흡의 국부적인 변형으로 노치 흡이 있는 모델이 노치 흡이 없는 모델보다 큰 에너지를 흡수하였다.

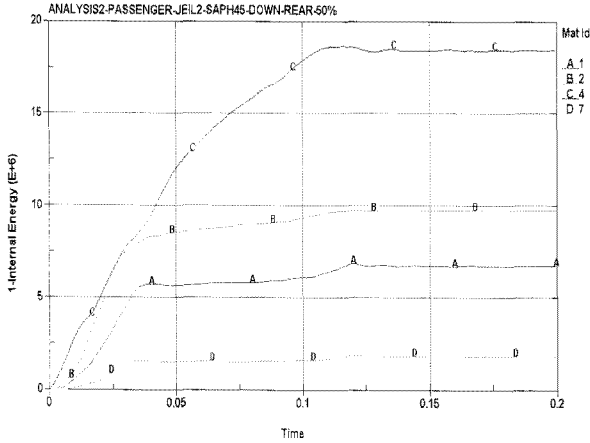


Fig. 9 Internal energy of model 2

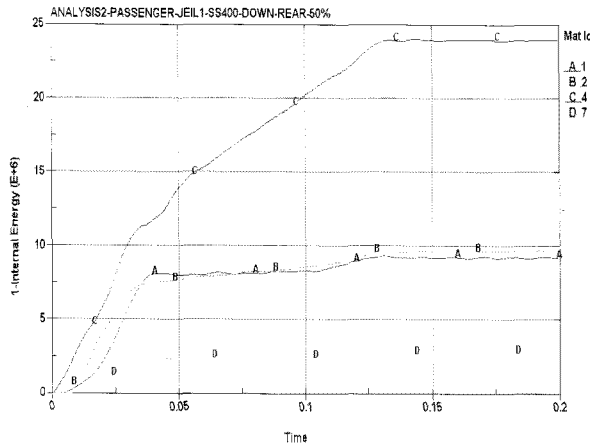


Fig. 10 Internal energy of model 3

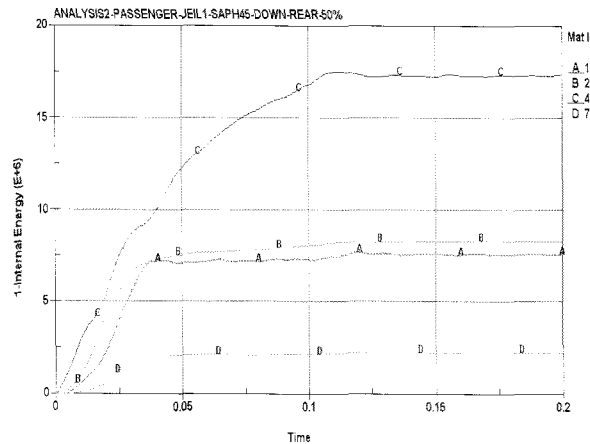


Fig. 11 Internal energy of model 4

3.2.3 이탈각도와 이탈속도 비교

방호울타리 충돌 인증 시험 시, 주요 평가항목은 차량의 이탈 각도와 이탈속도이며, 평가항목 중 이탈각도는 적을수록 그리고 이탈속도는 빠를수록 좋은 평가를 받는다⁽⁴⁾. 충돌 후 가드레 일과 차량의 진행방향이 이루는 이탈각도와 이탈속도를 실험 결과와 비교하여 Table 3에 나타내었으며 해석모델의 이탈속도에 대한 그래프는 Fig12~15에 나타내었다.

Table 3에서와 같이 해석모델 1의 이탈각도와 이탈속도가 시험과 약 20%의 오차를 보이고 있는데 이는 차량 데이터 부

Table 3 Separation angle and velocity

구 분	시험	모델 1	모델 2	모델 3	모델 4
이탈각도 (°)	6.7	8.5 (26.9%)	7.4	8.0	6.7
이탈속도 (km/h)	54.5	65.1 (19.4%)	69.0	65.8	69.3

※ 모델 1안의 ()안 숫자는 시험과의 오차를 나타낸다.

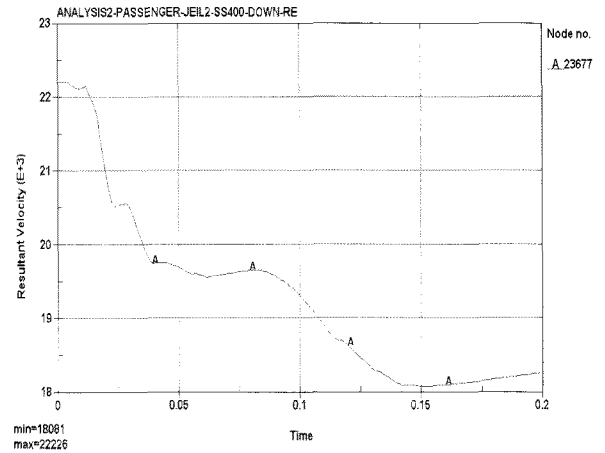


Fig. 12 Separation velocity of model 1

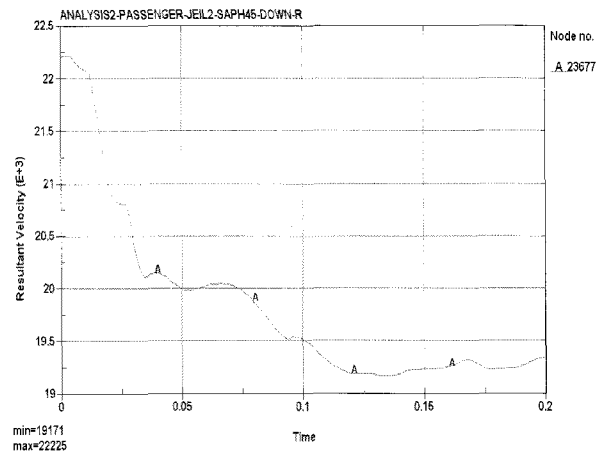


Fig. 13 Separation velocity of model 2

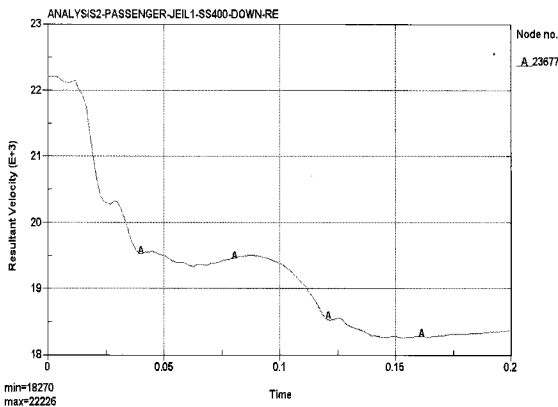


Fig. 14 Separation velocity of model 3

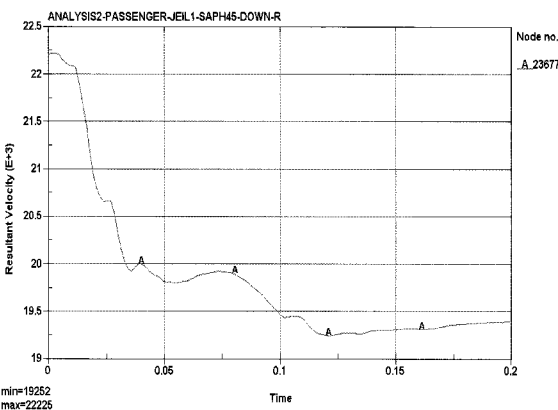


Fig. 15 Separation velocity of model 4

축에 의한 충돌차량의 형상 불일치와 지면과의 타이어 마찰 등에 의한 영향으로 판단된다. 해석모델로부터 이탈각도와 이탈속도를 살펴보면 레일의 재료를 saph45로 사용하고 연결대에 노치 홀이 없는 모델 4가 이탈각도와 이탈속도 면에서 가장 좋은 결과를 보였다. 이 결과를 구성부품의 흡수에너지로부터 살펴보면 레일은 가능한 변형에 의한 흡수에너지가 적은 모델이 유리하였으며 동일한 형상에 대한 연결대 경우는 흡수에너지가 큰 모델이 유리하였다. 지주의 경우도 연결대와 같이 변형에 의한 흡수에너지가 큰 경우가 유리하였다.

4. 결론

방호울타리에 대한 차량의 충돌해석을 수행하여 차량의 이탈각도 및 이탈속도를 각 시간별 변형양상과 주요 부재의 흡수에너지로부터 평가하여 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 방호울타리의 충돌시뮬레이션 결과를 실험결과와 비교해봄으로써 개발초기 단계에서의 짧은 기간 내에 방호울타리의 개선작업 가능성을 확인하였다.

- (2) 레일의 재료와 연결대의 노치 홀에 의한 이탈각도와 이탈속도를 살펴보면 레일의 재료는 인장강도가 큰 모델이 유리하고 연결대는 노치 홀이 없는 모델이 유리하였다.
- (3) 방호울타리의 흡수에너지 크기는 레일, 연결대, 지주 순으로 나타났으며, 인증을 위한 이탈각도와 이탈속도 측면에서 살펴보면 가능한 레일은 적은 에너지를 흡수하는 것이 유리하고 연결대와 지주는 많은 에너지를 흡수하는 것이 유리하였다.
- (4) 차량의 형상을 단순화한 본 논문의 단순모델에 대해서는 추후 차량의 상세모델에 의한 추가적인 해석에 의해 시험결과와 비교가 이루어 질 것이다.

참고 문헌

- (1) NCHRP Report 350, 1993, *Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features*.
- (2) EN, 1998, *Road Restraint Systems*, EN 1317-1~3, European Committee for Standardization.
- (3) Kongju National University, 2000, *Development of Bridge Guardrail System Using High Standard Tubed Thrie-Beam*, Disaster Prevention Research Center Kongju National University.
- (4) Road Management Division, 2001, *Road Restraint Systems(A Business Manual of Vehicles Protection Safety Facilities Life Size Crash Test)*, Ministry of Construction & Transportation.
- (5) Powell C. H., 1970, *Computer Evaluation of Automobile Barrier Systems*, U. C. Berkely, USA.
- (6) Ross H. E., 2000, *Evaluation of Roadside Features to Accommodate Vans, Minivans, Pickup Trucks and 4 Wheel Drive Vehicles*, TTI(Texas A & M University), USA.
- (7) Kongju National University, 2002, *Performance Evaluation of Dong-A Thrie-Beam Guardrail System for Impact Conditions of 1.5Ton-113km/h - 20° Using Computer Program Barrier VII*, Disaster Prevention Research Center Kongju National University.
- (8) Han, S. Y., and Ko, S. H., 2002, "Design of a Protection Fence by Crashworthiness Analysis," *Proceedings of the KSMTE Fall Conference 2002*, pp. 487~492.
- (9) ITS & Road Environment Division, 2001, *Road Safety Facilities Installation and Management Guide(Vehicles Protection Safety Facilities Part)*, Ministry of Construction & Transportation.
- (10) LS-DYNA, 2003, *LS-DYNA User's Manual Version 970*, LSTC Inc.