

# 강재 방호벽에 대한 차량의 충돌 시뮬레이션

## Crash Simulation of a Vehicle Against Steel Guardrails

조 판 규\* · 김 승 익\*\*  
Cho, Pan Kyu · Kim, Seung Eock

---

### ABSTRACT

The real vehicle crash experiment is the best way to evaluate the performance of a guardrail. However the experiment is very expensive because of high cost of vehicles and guardrail installation. Thus in this study, crash simulation of a vehicle against a steel guardrail is performed using LS-DYNA. There are many researches on the impact of a vehicle against a guardrail. However the friction between a vehicle and a guardrail is not considered, although it affects considerably the behavior of a guardrail. In this paper, the friction coefficient is applied to evaluate correctly the performance of a guardrail.

*Keywords : guardrail, vehicle crash, crash simulation, LS-DYNA*

---

## 1. 서 론

가드레일의 성능을 평가하는 방법은 실물 차량 충돌 실험이 가장 확실하나 비용과 시간이 많이 소요된다. 따라서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 가드레일의 성능을 평가하는 것이 효과적이다. 국내에서는 W형상의 철재 가드레일과 콘크리트 중앙분리대 및 철재 교량 난간에 대하여 충돌 해석을 실시한 바 있다 (고만기, 1998; 주재웅, 2002). 해외에서는 W형상의 철재 가드레일과 콘크리트 방호벽에 대하여 충돌 해석을 실시한 바 있다 (Atahan, 2004). 그런데 이러한 연구에서는 지주 형상, 충돌 각도, 충돌 속도, 차량 중량은 고려되었지만, 차량과 가드레일 사이의 마찰계수는 고려되지 않았다. 차량과 가드레일 사이의 마찰계수 크기에 따라, 차량 충돌 후 가드레일의 거동이 달라진다. 따라서 본 논문에서는 차량과 가드레일 사이에 마찰계수를 적용하여 충돌해석을 수행하고 가드레일 성능을 평가하였다.

## 2. 충돌 해석

### 2.1. 해석 프로그램

본 연구에서 사용한 LS-DYNA는 1970년대 저속 충돌 문제를 해석하기 위해 LLNL(Lawrence Livermore National Laboratory)에서 개발된 것이다. 1980년 후반 LSTC사의 설립과 함께 다양한 접촉 문제와 충돌 해

---

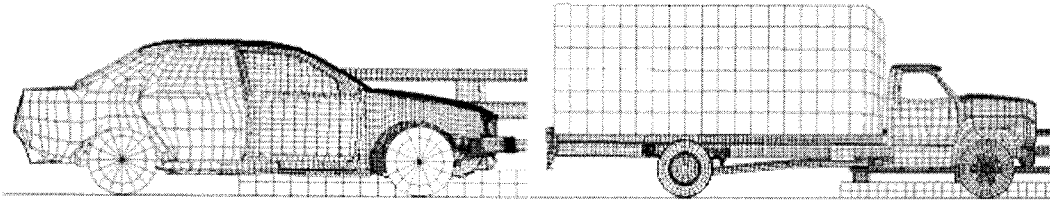
\* 학생회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 E-mail : c9877038@empal.com

\*\* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수 E-mail : sekim@sejong.ac.kr

식 분야의 광범위한 적용 등을 통해 안정성이 입증된 프로그램이며, 특히 가드레일과 차량 부재 모델링에 유용한 요소들을 가지고 있다.

## 2.2. 차량 모델링

미국의 NCAC(National Crash Analysis Center)가 제공하는 1.3톤의 승용차(Ford Taurus)모델과 8톤 트럭(Ford single unit truck)모델을 사용하였으며, 그림 1은 각각의 3차원 차량 모델을 나타내고 있다. 승용차 경우 몸체는 28,230개의 쉘 요소로 되어있으며, 내부부품은 348개의 솔리드 요소로 되어 있다. 대부분의 물성치는 항복응력 215MPa, 탄성계수 200,000MPa인 강재로 되어 있다. 트럭의 경우 몸체는 19,479개의 쉘 요소로 되어 있으며, 내부부품은 1,248개의 솔리드 요소로 되어 있다. 대부분의 물성치는 항복응력 270MPa, 탄성계수 205,000MPa인 강재로 되어 있다. 트럭의 경우 제공된 모델의 중량이 8톤으로써 “차량방호 안전시설 실험충돌 시험 업무편람”의 충돌 차량 기준인 14톤에 맞추기 위하여 단위 중량을 증가시켰다.



(a) 승용차 모델

(b) 트럭 모델

그림 1 3차원 차량 모델

## 2.3. 가드레일 모델링

가드레일은 현재 일반도로 및 고속도로에서 널리 적용 가능한 SB5-3단을 선정하였다. 이 모델은 지주, 콘크리트 연석, 상단빔, 중간단빔, 하단빔 및 충격완화부재로 구성되어 있다. 각 부재의 재료로써 지주는 SM400, 상단빔, 중간단빔 및 하단빔은 SS400, 충격완화부재는 SPSR400이 사용되었다. 각 부재의 두께로써 지주는 8mm, 상단빔, 중간단빔 및 하단빔은 4mm, 충격완화부재는 3.2mm가 사용되었다. 충돌 후 차량의 진행을 고려하여 가드레일의 길이 20m를 모델링하였다. 사용된 지주, 상단빔, 중간단빔, 하단빔 및 충격완화부재는 쉘 요소로, 콘크리트 연석은 솔리드 요소로 모델링하였다. 요소 수는 표 1과 같다. 상단빔, 중간단빔, 하단빔, 충격완화부재는 항복응력 400MPa, 탄성계수 210,000MPa인 강재로 모델링하였으며, 콘크리트 연석은 일축압축강도 40MPa, 탄성계수 29,420MPa로 모델링하였다. 그림 2는 3차원 강재 가드레일 모델을 보여준다.

표 1 가드레일의 요소 수

구 성 품	요 소 종 류	요 소 수
지 주	SHELL	3,333
상 단 빔	SHELL	4,800
중 간 단 빔	SHELL	5,204
하 단 빔	SHELL	4,000
충 격 완 화 부재	SHELL	660
콘 크 리 트 연 석	SOLID	1,920
합 계	-	19,917

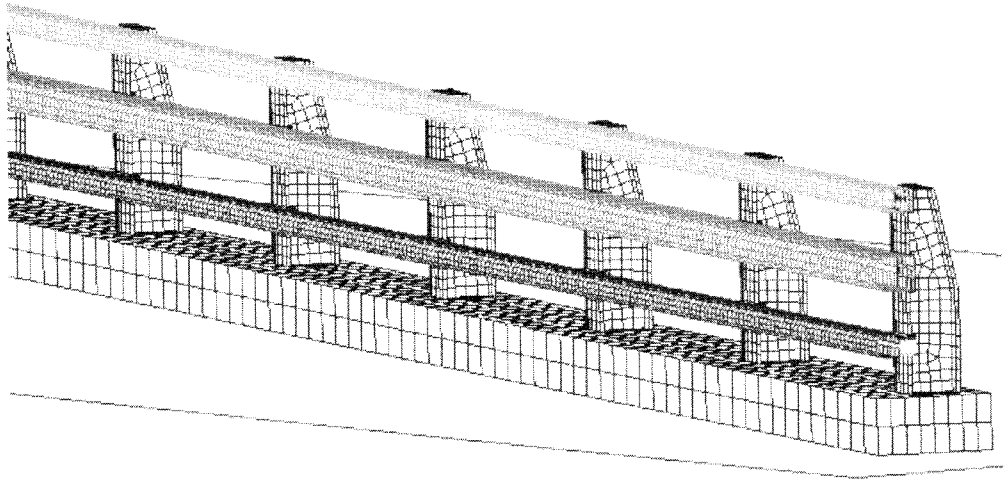


그림 2 3차원 강재 가드레일 모델

#### 2.4. 경계 조건 및 접촉 조건

경계 조건으로 콘크리트 연석 바닥의 변위 및 회전을 구속하였다. 도로는 강체로 모델링하였으며, 도로와 차량 바퀴는 LS-DYNA의 라이브러리에서 제공하고 있는 RIGIDWALL-PLANAR를 사용하여 접촉조건을 부여하였다. 도로에 대한 바퀴의 마찰계수는 표 2에서 주행 중 마찰계수인 0.01을 적용하였다. 차량과 가드레일의 접촉 조건은 AUTO-SURFACE-TO-SURFACE를 사용하여 부여하였다. 차량의 도색에 의한 표면의 미끄러움을 고려하여 정지마찰계수는 0.13으로 가정하였으며, 운동마찰계수는 0.12로 가정하였다.

표 2 도로운행에 따른 마찰계수\*

운행조건	마찰계수
주행 중	0.010 - 0.013
타이어 손상	0.25 x 손상된 타이어수
Engine Braking	(60년 이후 차량)
High Gear	0.100
Low Gear	0.10 - 0.20

\* Engineering Dynamics Corporation : EDVAP Program Manual (1994)

#### 2.5. 충돌 조건

건설교통부의 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람에 근거한 차량 충돌 시험 조건은 표 3과 같다. 승용차의 충돌 속도는 80km/hr를 적용하였으며, 가드레일에 대한 충돌 각도는 20도를 적용하였다. 트럭의 충돌 속도는 65km/hr를 적용하였으며, 충돌 각도로 15도를 적용하였다.

표 3 차량 충돌 시험 조건

차량 종류	차량 중량(ton)	충돌 속도(km/hr)	충돌 각도(°)
승용차	1.3	80	20
트럭	14	65	15

### 3.3 충돌 해석 결과

승용차의 경우 80km/hr로 충돌하였는데 이탈속도는 52km/hr로써 충돌속도대비 65.4%로 감소하였다. 충돌 각도는 20도로 충돌하였는데 이탈각도는 2.7도로써 충돌각도대비 13.5%로 감소하였다. 승용차는 충돌에 의하여 주로 앞 범퍼와 본내트에 최대 24cm의 변형이 발생하였으나 전도되지 않았고, 가드레일을 따라 원활히 이동하였다. 가드레일은 하단빔이 최대 27mm까지 변형하였으며, 나머지 부위에는 변형이 없었다. 트럭의 경우 65km/hr로 충돌하였는데 이탈속도는 51km/hr로써 충돌속도대비 78.9%로 감소하였다. 충돌 각도는 15도로 충돌하였는데 이탈각도는 2.6도로써 충돌각도대비 17.3%로 감소하였다. 트럭은 주로 앞 범퍼와 본내트에 최대 26.8cm의 변형이 발생하였으나 전도되지 않았고, 가드레일을 따라 원활히 이동하였다. 가드레일은 상단빔이 최대 148mm, 중간단빔이 최대 21mm, 하단빔이 최대 23mm까지 변형하였으며, 나머지 부위에는 변형이 없었다. 두 경우 모두 가드레일의 구성부재가 비산하지 않았다. 시간에 따른 충돌 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같다.

차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람에 따른 가드레일의 성능평가기준 및 평가 결과는 표 4와 같다. 표에서 보는 바와 같이 차량의 이탈 속도와 이탈 각도가 기준치를 만족하는 것을 알 수 있다.

표 4 가드레일에 대한 성능 평가 기준 및 결과

구분	차량	성능 평가 기준	성능 평가 결과
강도 성능	트럭	최대충돌변형거리1.1m이하	0m
탑승자보호성능	승용차	THIV 9m/s 미만	-
		PHD 20g 미만	-
충돌 후 차량의 거동	승용차	전도 유무	전도 없음
		이탈 속도가 충돌 속도의 60%이상	승용차: 65.4%
	트럭	이탈 각도가 충돌 각도의 60%이하	트럭: 78.9%
가드레일의 비산	승용차 트럭	비산 유무	비산 없음

g : 9.8 m/s<sup>2</sup>

THIV(Theoretical Head Impact Velocity): 탑승자 충격 속도

PHD(Post-impact Head Deceleration): 탑승자 가속도

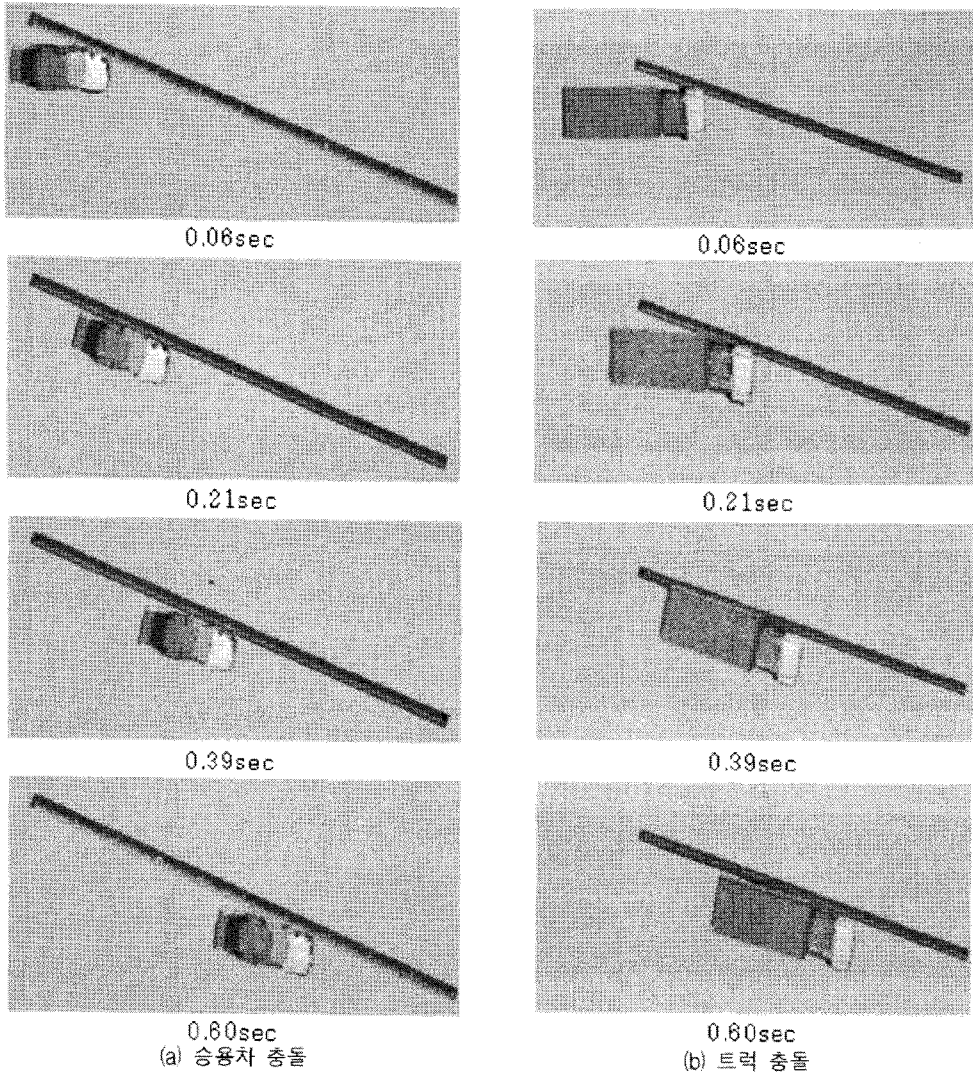


그림 3 시간에 따른 충돌 시뮬레이션

#### 4. 결 론

첫째, 차량과 가드레일의 마찰계수를 고려한 충돌 해석을 수행하여 수치적으로 가드레일의 성능을 좀 더 합리적으로 평가하였다.

둘째, 승용차와 트럭의 이탈 속도는 각각 충돌 속도의 65.4%, 78.9%로 기준인 60%이상을 만족하며, 이탈 각도는 각각 충돌 각도의 13.5%, 17.3%로 기준인 60%이하를 만족한다. 따라서 성능평가 조건 중 충돌 후 차량의 이동 조건을 만족한다. 승용차와 트럭이 강제 가드레일에 충돌 후 가드레일의 구성부재는 비산하지 않았으므로 구성 부재 비산 억제 기능을 만족한다.

## 감사의 글

이 논문은 산업자원부의 지원(No. 10020379-2006-12)으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 건설교통부 (2001) 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람
- 건설교통부 (2002) 콘크리트방호벽 성능개선방안 연구 최종보고서
- 교만기, 김기동 (1998) W-Beam 및 Thrie-Beam 가아드레일 시스템의 거동 분석, 한국전산구조공학회 98 가을 학술발표회 논문집, pp.117~124.
- 주재용, 이성관 (2002) 상용 프로그램을 이용한 콘크리트 중앙분리대 방호울타리들의 구조적 안정성에 대한 비교 분석, 한국전산구조공학회 02 가을 학술발표회 논문집, pp.177~184.
- 한국도로공사 (1996) 충격완화 가드레일 개발 연구 중간보고서
- Atahan, A.O. (2005) Impact analysis of a vertical flared back bridge rail-to-guardrail transition structure using simulation, *Finite Elements in Analysis and Design*, 41, pp.371~396.
- Engineering Dynamics Corporation (1994) EDVAP Program Manual
- LSTC (2006) LS-DYNA Keyword User's Manual, *Livermore Software Technology Corporation*, Livermore, CA.