

고속도로 절대방호지역의 고성토구간용 차량방호울타리 개발

Development of Roadside Barriers on Dangerous Area in Expressway

주재웅* · 장대영** · 배종환*** · 이재성****
 Joo, Jae Woong · Jang, Dae Young · Bae, Jong Hwan · Lee, Jae Seong

1. 서론

차량방호울타리란 제어능력을 잃은 자동차가 도로를 이탈하거나 중앙분리대를 넘어서 반대차로로 들어가지 않도록 갓길 또는 중앙분리대에 설치하는 울타리를 말한다. 1994년 9월에 건설교통부는 도로안전시설 설치 및 관리지침 기준정립을 위하여 장기 연구계획을 수립하고, 이후 시선유도시설, 차량방호안전시설 등 다양한 도로안전시설에 대한 설치지침을 마련하였다. 가드레일, 중앙분리대, 교량난간 등 각종 도로안전시설물에 대한 개발·개선 연구가 이어지면서 결국 1998년 “도로안전시설 설치 및 관리지침 - 충격흡수시설편”에서 국내 최초로 실물 충돌시험에 관한 체계적인 기준이 제시되었고 2001년 “도로안전시설 설치 및 관리지침 - 차량방호안전시설편”에서는 도로안전시설의 성능검증을 위한 실물 충돌시험 기준이 정립되어 실물 충돌시험을 통해 성능이 검증되지 않은 도로안전시설물의 현장적용이 불가하다는 정책적 근거까지 제시되었다. 본 연구는 고속도로 절대방호지역의 고성토구간용 차량방호시설로 사용되고 있는 2단 가드레일에 대해 건교부 “도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호안전시설편, 2001)”에 의거하여 충돌시험을 통해 검증하고 성능기준에 부적합 시 개선방안을 마련하고자 한다.

본 연구에서 개발된 차량방호울타리는 고속도로의 절대방호지역인 고성토부에 활용될 수 있으며, 충돌사고의 심각성 및 교통사고의 피해액을 감소시키고 도로이용객의 안전성을 제고시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 성능평가기준

차량방호울타리를 개발하여 현장에 설치하고자 할 경우 기초적인 개발단계를 거쳐 최종적으로 수행되어야 하는 것이 실물차량 충돌시험이다. 충돌시험은 선진 외국의 경우에도 차량방호울타리 개발의 최종검증 단계로 반드시 거쳐야할 단계로 인식하고 있다. 본 연구를 통해 검증하고 개발될 고성토구간용 차량방호울타리(SB5등급)에 대한 실물차량 충돌시험에 적용될 충돌시험기준은 2001년 건설교통부에서 발행된 「도로안전시설 설치 및 관리지침-차량방호 안전시설 편」이다. 강도성능 및 탑승자 보호성능 평가를 위한 시험조건은 아래의 표 1과 같다. 차량 방호울타리는 충격도를 기준으로 한 등급에 대해 주어진 시험조건에 따라 실물차량 충돌시험 시, 구조 성능, 탑승자 보호성능, 충돌 후 차량의 거동 등이 각각의 성능 기준을 만족해야 한다.

표 1. 탑승자 보호성능 및 강도 성능 평가를 위한 충돌시험 조건

구 분	등 급	충돌 속도 (km/시)	차량 중량 (kg)	충돌 각도 (°)	기준 충격도 (kJ)
탑승자보호성능	SB5	100	1,300	20	58
강도성능		80	14,000	15	230

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 선임연구원(E-mail : jjw123@ex.co.kr) -발표자
 ** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 연구원(E-mail : dmyoung@hanmail.net)
 *** 비회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 팀장(E-mail : jhbae@ex.co.kr)
 **** 비회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 차장(E-mail : tornado@ex.co.kr)

3. 문제점

고속도로의 절대방호지역에 사용되고 있는 대표적인 SB5등급 고성토구간용 노측 방호울타리는 2단 가드레일이다. 2단 가드레일의 성능을 평가하기 위해 도로교통연구원 충돌시험장에서 2단 가드레일을 설치하고 충돌시험을 수행했다. 일반 다짐지반에 원형 지주(Ø138.9× 4.5t)를 2m 간격으로 타입하고 지주에 2W 레일을 상부와 하부에 2단으로 볼트 고정하여 설치하였다. 실물차량 충돌시험 결과, 2단 가드레일은 대형차량 충돌에 강도를 유지하지 못했으며 충돌차량은 방호울타리를 타고 넘는 승월현상이 일어났고 대형차량의 이탈속도는 충돌속도의 51.0 % (41.4 km/h)로 기준을 만족하지 못했다. 소형차량 충돌시험 결과, 측정되는 탑승자의 보호성능 즉 탑승자 충돌속도(THIV)와 충돌가속도(PHD)는 만족스러웠으나 차량의 충돌거동 즉 이탈각도가 기준치보다 크게 측정되었다. 현재 고속도로에서 사용중인 절대방호지역의 2단 가드레일은 국내 성능시험 기준에 미흡한 것으로 평가되어 개선방안이 필요했다.



그림 1. 2단 가드레일 대형차 충돌 후 차량의 궤적 및 비산상황

4. 구조검토

차량방호울타리를 개발함에 있어 우선적으로 선행되어야 할 것이 어떠한 형식으로 개발할 것인지의 방향 설정이다. 만약 방호울타리의 형식이 선정되면 그 형식에 대한 환경성, 시공성, 쾌적성, 미관성 등을 고려하여 형식의 타당성을 검토하여야 한다. 형식의 타당성이 검증되면 세부적인 단면(가로빔, 지주, 블록아웃 등)을 설계해야 하고 경제성을 고려한 단면이 결정되면 이론적인 계산(Olson Model, Mechanism 해석 등)과 단면에 대한 정하중 실험 등을 통해 구조적 적합성을 검토한 후 방호성능을 고려한 지주의 간격, 가로빔의 위치, 방호울타리의 높이 등을 설계한다. 방호울타리의 설계도면이 작성되면 충돌해석 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 수행하여 차량방호성능에 만족하는지를 분석하고 최종적으로 실물차량 충돌시험을 통해 방호울타리의 개발과정이 완료된다고 할 수 있다. 그림 2는 이러한 일련의 과정을 Flow Chart로 나타내었다.

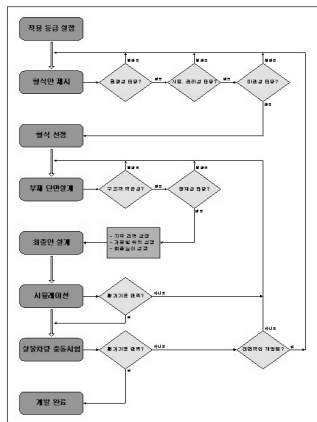


그림 2. 방호울타리의 개발 흐름도

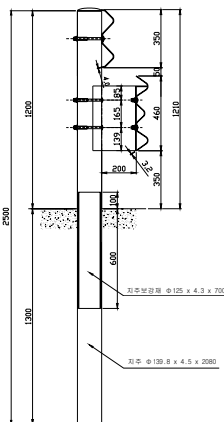


그림 3. 2단 가드레일 개선(안)

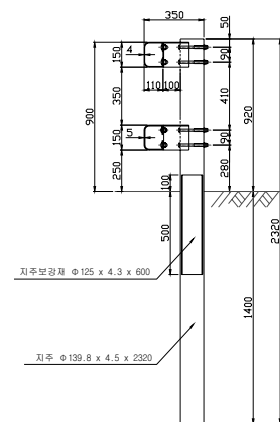


그림 4. 개방형 방호울타리(안)

Mechanism 해석법에 의한 극한하중 산정법과 Olson Model에 의한 구조검토 및 단면검토를 통해 그림 3과 4처럼 고속도로 절대방호지역에서 사용가능한 고성도부용 2단 가드레일 개선(안)과 도로의 미관을 고려한 고규격 개방형 경관용 노측 방호울타리(안)을 설계하였다.

5. 충돌 시물레이션

“도로안전시설 설치 및 관리지침”의 충돌시험 기준에 맞추어 SB5등급 적용한 개선형 2단 가드레일 노측용 방호울타리, 개방형 노측용 방호울타리에 대하여 LS-DYNA를 이용한 3차원 충돌시물레이션을 실시하였다. 충돌시물레이션 결과를 통해 차량방호울타리들의 구조적 안정성 및 탑승자 안전도를 평가하였다. LS-DYNA는 도로안전시설과 차량의 부재를 모델링할 수 있는 다양한 요소들을 갖추고 있으며, 이 요소들의 특성은 부재의 복잡한 비탄성 및 비선형 거동을 정의할 수 있다. 또한 차량과 도로안전시설을 3차원으로 모델링할 수 있기 때문에 도로안전시설의 거동을 면밀하게 조사할 수 있고 차량의 움직임을 세밀히 검토할 수 있어 도로안전시설의 평가 및 주요 부재의 성능 검토에도 폭넓게 활용되고 있다. 개선형 철재 노측용 2단 가드레일과 개방형 차량방호울타리의 시물레이션에서는 그림 5, 6과 같이 NCAC(National Crash Analysis Center at George Washington University)에서 개발한 Ford Taurus 차량의 Reduce 모델(NCAC, 2000)과 Ford Single Unit Truck 모델을 사용하여 하였다. 차량의 중량은 승용차의 경우 1,300kg이며, 트럭의 경우 차량중량 8,000kg 모델에 적재하중 6,000kg을 적용하여 14,000kg으로 모델링 하였다.

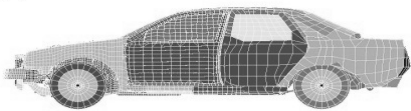


그림 5. 승용차 모델(Ford Taurus)

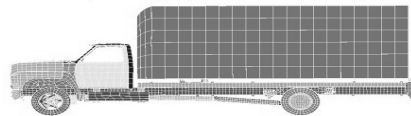


그림 6. 트럭 모델(Ford Single Unit Truck)

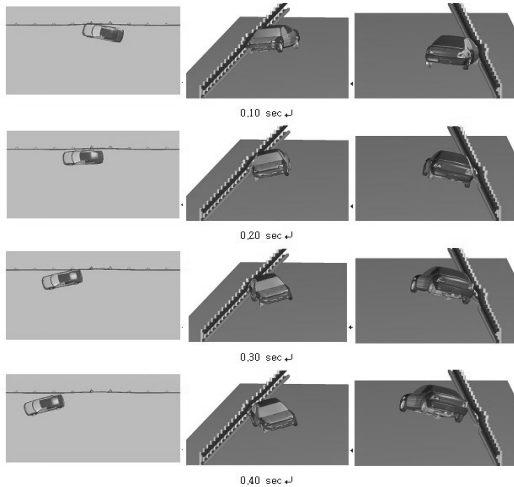


그림 7. 소형차량의 시물레이션 충돌거동

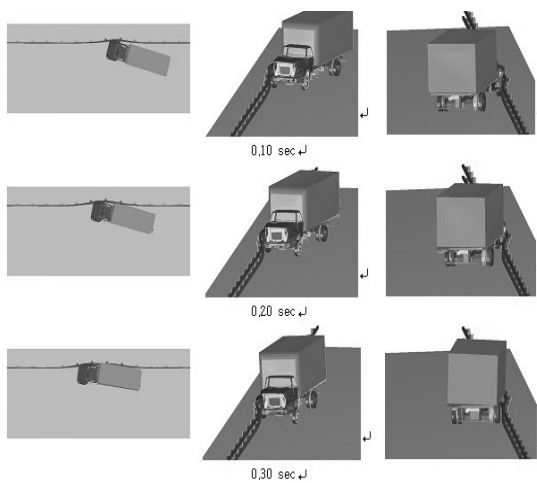


그림 8. 대형차량의 시물레이션 충돌거동

본 연구에서 제안된 개선형 2단 가드레일과 개방형 차량방호울타리에 대한 충돌시물레이션 결과, 탑승자 충돌속도(THIV)와 탑승자 충돌가속도(PHD)는 각각 한계값 이하로 만족했다. 그리고 이탈속도 및 이탈각도는 또한 성능기준을 충족했다. 충돌하중에 대하여 차량의 관통이나 전도 등을 허용하지 않았으며, 차량의 궤적을 부드럽게 선회시켜 주행차로로 안전하게 복귀시켰다. 모든 차량방호울타리는 강도성능을 만족하는 것으로 나타났다. 그림 7, 8은 개선형 2단 가드레일 방호울타리에 대한 소, 대형차량의 시물레이션 충돌거동을 나타낸 것이다.

6. 실물차량 충돌시험

개선, 개발된 방호울타리의 최종검증을 위해 실시한 충돌시험은 한국도로공사 도로교통연구원내에 위치한 충돌시험장에서 수행되었으며 실물 충돌시험은 탑승자 보호성능을 평가하기 위한 1.3ton 소형차와 구조성능을 평가하기 위한 14ton 대형차를 두 차례 수행하였다.

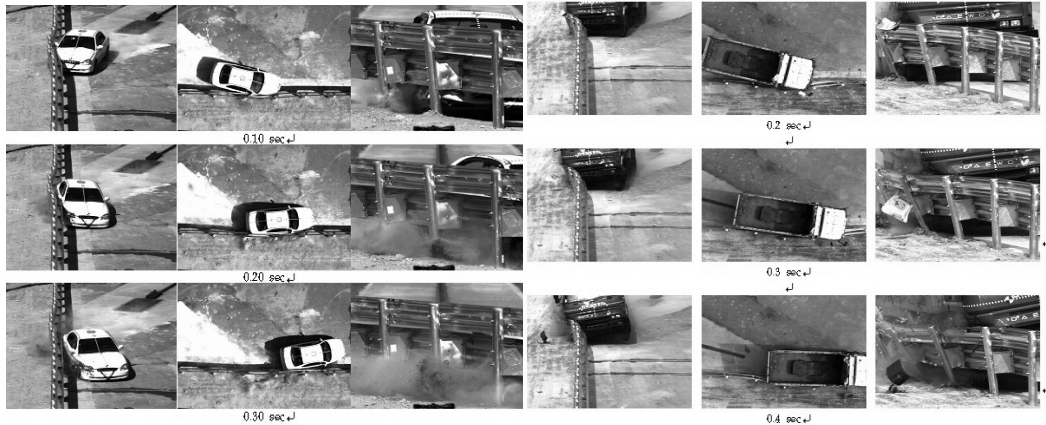


그림 9. 개선형 2단 가드레일의 시간에 따른 소, 대형차량의 충돌거동



그림 10. 소, 대형차 충돌 후 개방형 방호울타리의 변형상태

모든 차량방호울타리는 차량이 방호울타리에 충돌하여 전복되거나 급정지하지 않고 원활히 유도되는 충돌거동을 보였으며, 차량이 베리어를 통과하거나 밑으로 지나거나 혹은 위로 오르지 않았다. 방호울타리의 구성부재가 탈락되거나 차량의 컴파트먼트를 뚫고 들어가지 않았으며, 구성부재가 도로상이나 도로밖으로 비산하여 탑승자나 제 3자에게 피해를 주는 어떠한 요소도 발견되지 않았다. 탑승자보호성능 또한 우수했다.

7. 결론

본 연구에서는 고속도로를 주행하는 운전자의 안전을 제고하고 차량 충돌시 교통사고 피해를 최소화하기 위해 고속도로의 절대방호지역에 사용가능한 고성토구간용 차량방호울타리로 개선형 2단 가드레일과 새로운 고규격 개방형 경관용 노측 방호울타리를 제시하였다. 고속도로의 절대방호지역인 고성토부에 적합한 노측용 2단 가드레일 방호울타리와 도로의 경관과 조망권을 확보하면서 안전성까지 고려한 개방형 경관용 노측 방호울타리를 Olson Model 및 Mechanism 해석을 통한 구조검토, BARRIER VII과 LS-DYNA 3D를 이용한 충돌시물레이션, 실물차량 충돌시험을 통해 개발하였다.

참고 문헌

1. 건설교통부, “도로안전시설 설치 및 관리 지침 - 차량방호 안전시설 편”, 2001.
2. H. E. Ross, JR., D. L. Sicking, and R. A. Zimmer, Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, “NCHRP Report 350”, TRB, Washington, D.C., 1993.