

Open Box형 강재빔을 이용한 중앙분리대 형식의 개발

Development of Efficient Median Barrier using Open Box Steel Beam

안진홍* · 박창민** · 최진성*** · 김기환**** · 최현호*****

An, Jin hong · Park, Chang min · Choi, Jin seong · Kim, Ki whan · Choi, Hyun ho

1. 서 론

도로 안전 시설물중 중앙분리대는 주행차량의 대향차로 침범을 막아주고 방현기능 등을 제공하여 눈부심 등으로 인한 2차사고 발생을 억제하는데 꼭 필요한 안전시설물이다. 최근 고규격화 되는 도로설계와 자동차 기술의 발전으로 고속주행이 가능해져 사용자들의 서비스 요구수준은 높아진 반면 고규격, 쾌적성, 미관성 등을 두루 갖춘 고품질의 안전시설물에 대한 적용 및 개발은 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 기존의 성능평가기준을 만족시키는 중앙분리대를 조사하고 그 특성을 분석한 자료를 바탕으로 고규격화 되는 도로에 적용할 수 있는 안전하고 쾌적한 중앙분리대를 개발하고자 한다. 또한 현재 대부분의 차량방호울타리는 목적과 특성상 설계과정이 정형화되어 있지 않아 시행착오법에 의한 개발이 이루어지고 있다. 설계방법이 정립되지 않은 상태에서 제품개발을 시도할 경우 많은 비용과 시간을 소모하게 되어 비효율적이다. 본 연구에서는 체계화된 개발절차와 설계기법 등 효율적인 개발 방안을 통해 중앙분리대 개발을 수행하고자 한다.



그림 1. 효율적 연구수행을 위한 체계화된 개발절차 수립

2. 중앙분리대 형식제안

2003년 이후 실물차량 충돌시험을 통한 성능이 검증되지 않은 제품은 현장에 적용할 수 없다는 정책적인 근거가 확립되었다. 따라서 형식제안을 위해 2003년 이후 성능평가 기준을 통과한 중앙분리대의 형식 및 재원을 조사하였다. 2003년 이후 성능평가 기준을 통과한 중앙분리대는 총 16개로 SB2등급에서 SB5등급까지 분포하고 있으며, 형식은 콘크리트 중앙분리대, 강재 중앙분리대, 롤러 형식의 중앙분리대 등으로 다양한 것으로 조사되었다.

중앙분리대의 적정 높이 및 보의 위치를 결정하기 위해 국내 생산되는 차종에 대한 범퍼의 높이, 방현기능을 위한 전조등의 높이 및 차종별 운전자의 눈높이 조사, 그리고 차량의 전복방지를 위한 트럭의 무게중심 등을 조사하였다. 그 결과 그림 2 에서와 같이 승용차의 범퍼중심은 400mm대에 분포되어있고, 승합차의 경우 500mm, 대형트럭의 경우 분포범위가 넓지만 800mm대에 분포하는 것으로 조사되었다. 방현기능을 위한 전조등의 높이 조사결과 그림 3 에서와 같이 전조등 상단의 높이가 약 800~1300mm 사이에 위치하고 있

* 정회원 · (주)드림이엔지 R&D 차장 · 박사과정(E-mail : gate44@dreameng.net) - 발표자

** 비회원 · (주)드림이엔지 구조부 부장(E-mail : cmpark@dreameng.net)

*** 비회원 · (주)드림이엔지 R&D 부사장 · 공학박사(E-mail : jsc7090@dreameng.net)

**** 정회원 · 한국도로공사 기술심사실, 기술심의팀 전임연구원(E-mail : kihwan1@ex.co.kr)

***** 정회원 · 한국도로공사 기술심사실, 기술심의팀 책임연구원 · 공학박사(E-mail : padre@ex.co.kr)

며, 승용 및 SUV 차량의 운전자의 눈높이는 평균 1207.5mm로 조사되었다. 또한 트럭 무게중심 조사결과 14ton, 대형차량의 무게중심은 선형회귀분석을 통해 1,111mm로 나타났다.

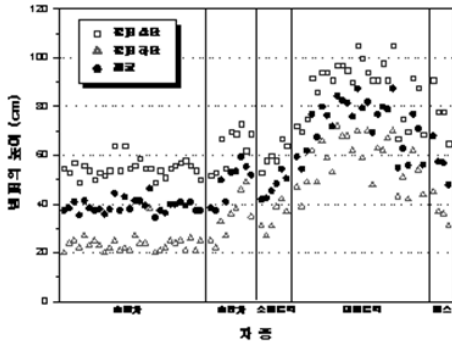


그림 2. 차량 범퍼 높이 조사

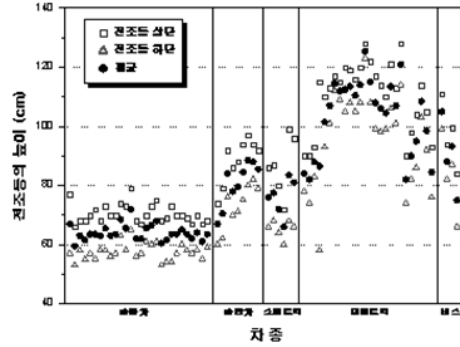


그림 3. 차량 전조등 높이 조사

조사 결과들을 바탕으로 중앙분리대 형식을 표 1에서와 같이 3개안으로 제안하였으며, 각 모델들은 Olson Model 및 Mechanism 해석법을 통해 구조검토를 수행하였다. 구조검토시 설계등급은 SB5등급으로써, 충돌 중량은 14ton, 충돌속도 80km/h(22.22m/sec), 충돌각도 15°로 해석을 실시하였다. 그 결과 제1안의 경우 극한 강도가 28.05ton(적정), 제 2안의 경우 12.02ton(과소), 제 3안의 경우 72.56ton(과대)으로 나타나, SB5등급의 횡방향력인 23.38ton을 하회하는 제 2안의 경우를 제외한 나머지 2개안의 경우 안정적인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 앞서 조사한 차량의 범퍼 높이와 방현기능, 구조적 적합성, 세부적인 단면특성 및 부재사용 조건 등을 종합적으로 고려하여 판단한 결과 구조적 성능을 만족하지 못한 제 2안 및 구조적으로 과다하고 부재 단가가 높아 경제성이 낮은 제 3안을 제외한 제 1안으로 중앙분리대 형식을 제안하였다.

표 1. 중앙분리대 형식 제안

제 1 안	제 2 안	제 3 안
부재:SS400 강제 지주:Z자형 지주	부재:SS400 강제 지주:실린더형 지주	부재:A6061-T6 알루미늄 지주:실린더형(보강)지주

3. 2D, 3D 시뮬레이션 수행

제안된 중앙분리대 형식에 대한 충돌시험을 수행하기에 앞서 비용 및 시간의 절약을 위해 차량과 방호울타리의 동적인 문제에 대하여 분석을 할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 2차원 해석방식의 BARRIER-VII 프로그램과 3차원 해석방식의 LS-DYNA 프로그램을 이용한 해석을 수행하였다. BARRIER-VII 프로그램은 주로 강제로 된 연성방호울타리(Flexible Barrier)에 충돌하는 차량의 운동 및 방호울타리의 구조적 거동을 해석하는데 사용되는 2차원 유한요소 프로그램으로 다른 프로그램에 비해 매개변수에 관한 연구에 유리한 장점이 있다. 그리고 LS-DYNA 프로그램은 도로안전시설과 차량의 부재를 모델링할 수 있는 다양한 요소를 갖고 있으며 차량과 도로안전시설을 3차원으로 모델링 할 수 있기 때문에 현재 사용되고 있는 시뮬레이션 중에 가장 정밀한 해석프로그램이라 할 수 있으며, 차량과 도로안전시설의 거동을 세밀히 조사 할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 총 4개 모델에 대한 SB4, SB5등급의 시뮬레이션을 수행하였다. 2절에서 Olson Model과 Mechanism 방법으로 구조검토된 3가지 형식의 중앙분리대를 2차원 해석프로그램인 BARRIER-VII를 이용하여 다시 검토하였다. 그리고 최종 제안된 제 1안에 대하여 3차원 해석프로그램인 LS-DYNA를 이용하여 최종적으로 구조강도 및 탑승자 보호성능에 대한 검토를 수행하였다.

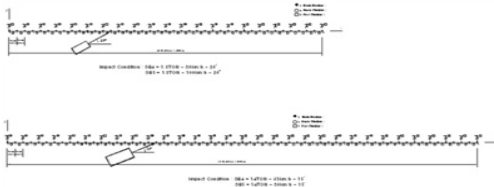


그림 4. 2차원 시뮬레이션을 위한 모델링

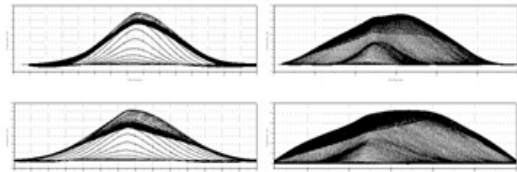


그림 5. 제1안 BARRIER-VII 수행결과(SB4, SB5)

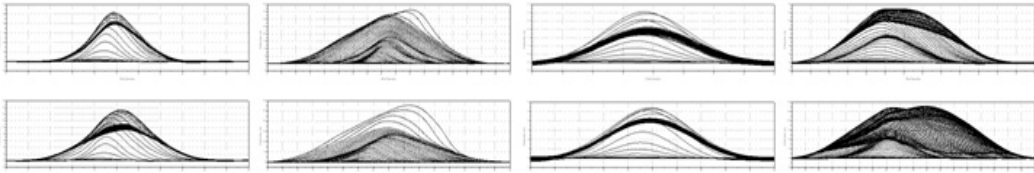


그림 6. 제2안 BARRIER-VII 수행결과(SB4, SB5) 그림 7. 제3안 BARRIER-VII 수행결과(SB4, SB5)

BARRIER-VII 시뮬레이션 수행을 위해 그림 4와 같이 2차원 모델링을 하였으며, 그 결과를 그림 5 ~ 그림 7에 수록하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 제 1안과 제 2안의 SB5 등급의 대형차 충돌에서 동적 최대 변형거리가 각각 1349.4mm와 1411.7mm로 평가기준인 1.1m를 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 그 외 탑승자 보호성능 및 강도성능, 충돌후 차량 거동 등에서는 모두 만족스러운 결과를 보였다. 따라서 제 1안과 제 2안의 중앙분리대 형식은 다소 약하게 설계되었다고 보여지나, BARRIER-VII 시뮬레이션은 변형거리가 다소 높게 평가되는 경향을 보이므로, 보다 세밀하고 정확한 LS-DYNA 3차원 시뮬레이션을 수행하여 판단을 내리도록 하였다.

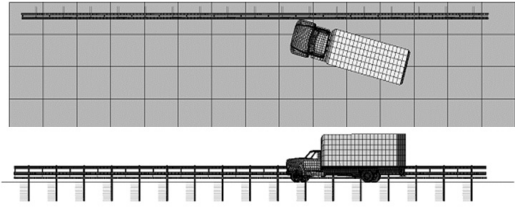
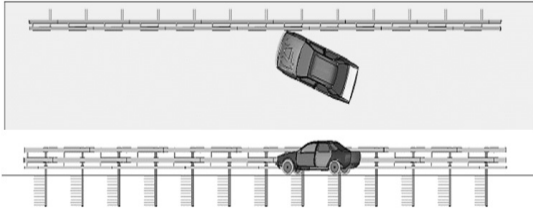


그림 8. 소형차 충돌 3차원 시뮬레이션 Full Model 그림 9. 대형차 충돌 3차원 시뮬레이션 Full Model

3차원 시뮬레이션은 2절에서 결정된 제1안에 대하여 실시하였으며, SB4등급과 SB5등급에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 수행을 위해 소형차량과 대형차량, 지반, 지주 및 가로 보에 대한 모델을 그림 8과 그림 9와 같이 모델링하였다. 수행 결과는 SB5등급에 대해서만 살펴보면, 소형차량 시뮬레이션 결과 탑승자 충돌속도(THIV) 28.4km/hr 및 탑승자 가속도(PHD) 10.1g로 나타나 기준값을 만족하는 것으로 나타났다. 충돌 후 차량의 거동은 6.3°이탈각도를 가지고 71km/hr 속도로 이탈하였으며, 중앙분리대의 최대변형은 277mm가 발생하여 기준을 충족시켰다. 대형차량의 경우 중앙분리대의 최대변형은 680mm로 나타났으며, 이탈각도 1.0°, 이탈속도 55km/hr로 기준을 모두 충족시키는 것으로 나타났다.

4. 실물차량 충돌시험

중앙분리대를 개발하여 현장에 설치하기 위해서는 최종적으로 실물차량 충돌시험을 거쳐 합격품에 대해서만 현장설치가 허용되고 있다. 실물차량 충돌시험은 선진 외국의 경우에도 차량방호안전시설물 개발의 최종검증단계로서 반드시 거쳐야 할 단계로 인식되고 있다.

본 연구를 통해 개발된 중앙분리대용 차량방호울타리에 대한 실물차량 충돌시험의 적용 기준은 2001년 건설교통부에서 발행된 “도로안전시설 설치 및 관리지침 - 차량방호 안전시설편”을 따랐으며, 일반구간의 중앙분리대에 해당하는 SB4등급을 적용하였다. 충돌시험은 한국도로공사 도로교통연구원에 위치한 충돌시험장에서 수행되었으며, SB4등급 기준에 따라 1.3ton-80km/hr-20°의 소형차량과 14ton-65km/hr-15°의 대형차량에 대하여 그림 10과 같이 실물차량 충돌시험을 수행하였다.

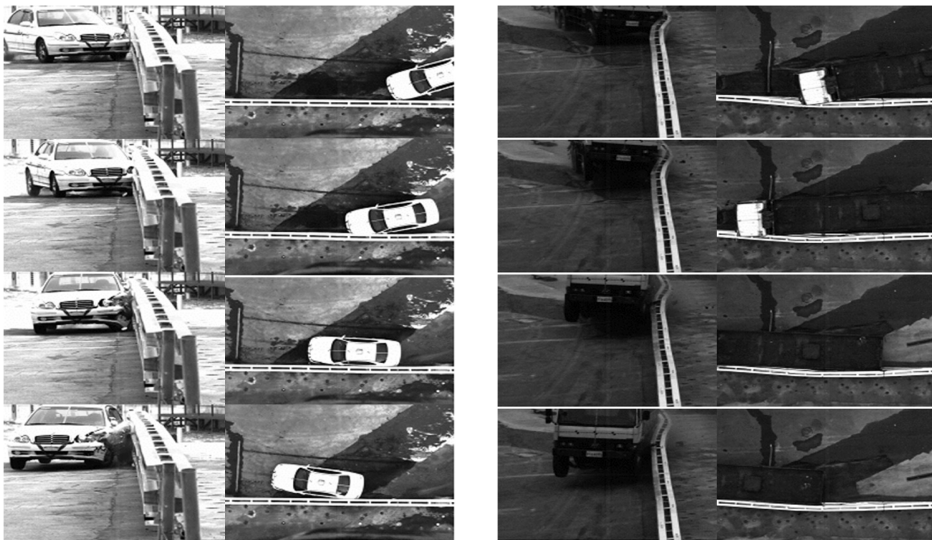


그림 10. 실물차량 충돌 시험 전경(1.3ton, 14ton / SB4등급)

실물차량 충돌시험 결과 충돌 후 차량의 거동은 소형차량의 경우 이탈속도는 51.4km/hr로써 충돌속도 83.1km/hr의 61.9%로 나타났으며 이탈각도는 9.09°로써 충돌각도 20°의 45.5%로 나타났다. 대형차량의 충돌 후 차량의 거동은 이탈속도는 54.5km/hr로써 충돌속도 67.2km/hr의 81.1%로 나타났고 이탈각도는 4.2°로써 충돌각도 15°의 28.0%로 나타나 소형차량과 대형차량 모두 충돌 후 차량의 거동은 만족스러운 결과를 나타내었다. 탑승자 보호성능은 탑승자 충돌속도(THIV)는 0.0980sec에서 25.8km/h의 값을 보였으며 이는 기준값인 33km/h보다 안전측으로 나타났다. 탑승자 가속도(PHD)는 0.2216~0.2316 sec 사이의 평균값인 8.1g의 값을 보였으며, 이는 기준값인 20.0g보다 안전측으로 나타났다. 가드레일의 구성요소가 탈락되어 차량 킴파트먼트를 뚫고 들어가지 않았으며, 구성부재가 도로상이나 도로밖으로 비산하여 탑승자나 제 3자에게 피해를 주는 어떠한 요소도 발견되지 않았다. 구조성능은 충돌하중에 충분히 견딜 수 있는 성능을 보였으며, 지주는 총 7본이 변형되었으며, 레일은 상단 2장, 중앙 3장, 하단 3장씩 각각 변형되었다. 중앙분리대가 차량을 관통하거나 탑승자에게는 위험요소를 제공하지는 않았으며 제 3자나 후속차량에 대한 위험요소를 제공할 만한 원인을 제공하지 않았다. 충돌시험 전·후 차량의 변화 및 충돌시험 전·후 중앙분리대의 변형상태를 그림 11 ~ 그림 12에 나타내었다.

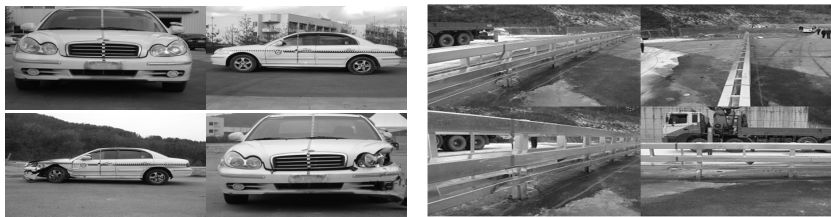


그림 11. 소형차량의 충돌 전·후 상태 및 중앙분리대의 충돌 전·후 변형상태



그림 12. 대형차량의 충돌 전·후 상태 및 중앙분리대의 충돌 전·후 변형상태

5. 결 론

본 연구에서는 2003년 이후 국내에서 성능이 검증된 중앙분리대의 형식 조사 및 국내 생산 차종들의 제원조사 및 시뮬레이션, 충돌시험 등 일련의 개발과정 통해 안전하고 운전자에게 쾌적성을 줄 수 있는 중앙분리대 형식을 제안하고 개발하였다. 그 결과 환경성, 쾌적성, 미관성을 개선시키고 고유 방호 성능을 만족시키며, 강풍에 의한 방형망 파손 등에 의한 2차사고 방지 등의 기능을 가지는 중분대 형식을 개발할 수 있었다. 개발된 중앙분리대 형식은 연구목적에서와 같이 도심지 국도에 적용 가능한 형식으로 적용가능현장은 도심부 국도공사 신설 및 노후 중앙분리대, 고속도로 진입도로, 교량용 중앙분리대가 있으며, 향후 시험시공을 통한 지속적인 모니터링의 실시로 현장적합성 및 유지관리의 효율성에 대한 확인을 통해 기술적인 보완을 실시하여야 할 것으로 판단된다. 또한 개발된 중앙분리대 형식은 가드레일형식의 중앙분리대와 비교시 방호성능(변형거리, THIV, PHD)이 뛰어남을 알 수 있었고 경제성 측면에서는 총 11개 형식 중 5개 형식을 제외하고는 경제적 우위에 있음을 확인하였다. 개발된 중앙분리대의 'Z'형 지주 사용두계를 기존 중앙분리대 '원형'



지주와 같은 두께로 변경 시 경제성 측면에서 우수하게 나타났으며, 'Z'형 지주의 간격을 2.0m에서 2.5m로 변경시에도 경제성 측면에서 우수하게 나타났으나, 방호기능은 실물차량 충돌시험을 통해 검증받아야 적용할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단(건설핵심D05-01)을 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-차량방호 안전시설 편, 2001. 7.
2. 건설교통부, 도로안전시설 설치 편람, 1989.
3. 건설교통부, 도로설계편람 제8권 안전시설, 1999. 12.
4. 건설교통부, 중앙분리대 종합기본계획 수립 2단계 연구, 2004. 8.
5. 공주대학교 방재연구센터, Dual Strength(DS) Guardrail을 이용한 중앙분리대 및 노측용 배리어 시스템 개발, 2003. 3.
6. 한국건설기술연구원, 차량방호안전시설 실물충돌시험 업무편람, 2001. 7.
7. AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2001.
8. AASHTO, Median Barrier Guidelines Revision to Chapter 6 of th Roadside Design Guide, 2005. 6.