

## 상용 프로그램을 이용한 콘크리트 중앙분리대 방호울타리들의 구조적 안정성에 대한 비교 분석

### Comparison Analysis on the Structural Stability of Concrete Median Barriers Using Commercial Software

주 재 웅<sup>1)</sup>                      이 성 관<sup>2)</sup>  
Joo, Jae-Woong,              Lee, Seong-Kwan,

---

#### ABSTRACT

The concrete median barriers are the most popular safety appurtenances that can be installed on narrow medians and are effective in keeping uncontrolled vehicles from crossing into opposing lanes of traffic. It is necessary to install and maintain median barriers because it is very difficult to reserve enough room required for medians in KOREA. And concrete median barriers are accepted as the actual alternatives for median barriers, mostly because they require almost no maintenance even after serious collisions. Typical concrete median barriers are 810mm high and have 596mm high glare screens on top of them. But we have experienced a number of "climb" and "roll-over" accidents of heavy vehicles until now, and most of all, there have been some serious accidents caused by the part of broken glare screens.

We have performed many computer simulations for the evaluation of the crashworthiness of concrete median barriers, and through the simulations we have tried to find a proper type of concrete median barrier.

---

#### 1. 서 론

콘크리트 중앙분리대 방호울타리(이하 중분대)는 충돌차량이 방향을 회복할 수 있는 공간이 매우 부족한 상황에서도 차량이 중앙선을 넘어 상대 차로로 진입할 가능성을 최소화하기 때문에 주된 중분대로 사용되어 왔다. 또한 충돌 후에도 보수할 필요가 거의 없으며, 이것은 사고로 인한 교통정체를 줄일 수 있다는 장점과 보수 작업시 발생할 수 있는 작업자 사고 가능성을 줄일 수 있다는 장점이 있고 다양한 형태를 가지는 콘크리트 중분대는 미국에서 개발되어 지난 30년 이상을 광범위한 지역에 걸쳐 사용되어져 왔다.

일반적으로 81cm의 높이의 콘크리트 구조 위에 59.6cm 높이의 방형망이 추가되어 있는 구조를 가지고 있는 F형 콘크리트 중분대는 국내에서 사용되어 왔던 대표적인 중분대 형태지만, 차량의 대형화 추세로 인해

---

1) 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 연구원

2) 한국도로공사 도로연구소 연구원

차량이 승월하는 교통사고나 방현망이 파괴되면서 2차 사고를 유발하는 경우가 빈번히 일어나고 있어 콘크리트 중분대의 형식 개선이 요구되고 있다.

본 연구에서는 여러 가지 콘크리트 중분대 형식에 대하여 알맞은 대안을 찾고자 도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호 안전시설 편, 건설교통부, 2002. 7)의 고속도로 구간 추천등급인 SB5의 기준에 따라 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 차량의 전복과 밀접한 관계가 있는 롤(Roll)각과 차량 탑승객의 안전도를 평가하는 차량이 받는 가속도 및 관리지침의 탑승객보호성능 평가기준인 탑승자 충돌속도(Theoretical Head Impact Velocity), 가속도(Post-impact Head Deceleration)를 각각의 모의충돌시험 후 측정하여 충돌해석 결과를 비교 분석하였다.

## 2. 모의충돌시험 모델링

콘크리트 중분대는 대표적인 강성 방호울타리이다. 이 방호울타리의 기하학적 형상은 차량 충돌시 차량의 거동 및 탑승자의 안전에 많은 영향을 끼친다. 아래 그림 1은 강성 방호울타리 중 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 형식의 형상을 나타내고 있다.

형상의 각부분을 간단히 언급하면 다음과 같다.

- A : 콘크리트 중분대 설치 이후의 재포장시까지를 고려한 경우로써 차량 충돌시 차륜은 이곳을 쉽게 오르게 된다. NJ형, F형 콘크리트 중분대는 장래 덧씌우기를 감안하여 3inch(7.5cm)의 여유를 미리 두었다.
- B : 차량 충돌시 차량이 등판할 경우에 차량이 상승하여 콘크리트 중분대에 충격에너지가 적게 작용하도록 해준다. 작은 각도의 충돌시 차량의 손상을 줄여준다.
- A-B 선 : A표면과 B표면의 경계선으로서 차륜이 이 교차점에서 접촉되었을 때 차륜은 콘크리트 중분대 길이 방향으로 회전(Roll)이 일어나고 현저한 반발작용이 발생된다.
- C : 이곳은 차량 충돌시 콘크리트 중분대와 충돌차량이 직접적으로 충돌을 일으키는 곳이다. 작은 각도의 차량 충돌시 차륜이 돌면서 차체 일부가 접촉된다. 또한 차륜이 이곳을 계속 등판하게 될 경우에는 차륜은 중분대 길이방향을 향하면서 차륜은 표면과 계속 접촉상태를 유지한다.

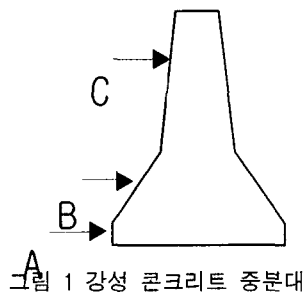


그림 1 강성 콘크리트 중분대

콘크리트 중분대는 중분대를 넘어 상대차로로 침범하는 사고를 방지하기 위해 설치된다. 콘크리트 중분대는 폭이 좁은 중분대에 설치되는 매우 일반적이면서도 효과적으로 사고 차량이 상대차로로 침범하는 것을 방지할 수 있는 도로안전시설물이다. 미국의 경우 캘리포니아 등 많은 주(州)에서 일평균 교통량이 20,000대 이상이고 중분대 폭이 9750mm 이하일 경우 콘크리트 중분대 사용을 의무화하고 있다. 이보다 폭이 넓은 중

분대의 경우 지주-빔 구조로 된 보다 유연한 중분대를 사용하기도 한다.

콘크리트 중분대의 경우 New Jersey형 중분대가 가장 일반적인 형식이라 하지만 그것 하나만 있는 것은 아니다. 1970년대 초반 미국의 한 조사에 의하면 36개 주(州)에서 특정 형식의 콘크리트 중분대를 사용하고 있는 것으로 나타났다. 그 중 19개 주(州)에서는 New Jersey형 중분대를, 8개 주(州)에서는 General Motors (GM)형 중앙분리대를, 그리고 나머지 주(州)에서는 양자를 혼합해서 사용하고 있는 것으로 나타났다. 이후 어떤 형식이 충돌시험에서 최상의 성능을 나타내는 지에 관한 연구가 수행되었고, New Jersey형과 GM형 이외에 여러 가지 형식 중에서 F형에 관한 시험도 수행되었다. 최근 들어서는 몇몇 주(州)에서 New Jersey형 중분대에 대한 대안으로 단일경사형 중분대를 사용하기 시작했다.

콘크리트 중분대 시공 기술은 세 가지가 있다. 현장타설 공법, 슬립폼(slipform) 공법, 그리고 프리캐스트(precast) 공법이 그것이다. 하와이 등은 주로 현장타설 공법을 사용하며, 미네소타 등은 슬립폼 공법을, 뉴햄프셔, 몬타나 등은 프리캐스트 공법을 사용한다. 그러나 대부분 슬립폼이 가장 흔한 공법이며, 이들 세 가지 공법을 상황에 따라 혼합해서 사용한다.

본 연구에서 콘크리트 중분대에 대한 모의충돌시험을 실시한 목적은 어떤 형식이나 사양의 분리대가 국내 실정에 가장 적합하고 경제적인지 모의충돌시험의 결과를 통해 고찰하는 것이다. 모의충돌시험에 사용된 시험차량은 소형승용차와 대형차 2가지로 나누어 모델링 되었다. 지면은 강체로 모델링하였으며 차량과 지면은 서로 접촉되어있으나 차량과 지면의 마찰력은 시뮬레이션에 큰 영향을 주지 않으므로 존재하지 않는 것으로 가정하였고 충돌시 차량이 공중으로 뜨게 될 가능성이 많으므로 중력가속도를 부여해 차량의 거동을 현실화되도록 하였다.

차량들은 앞 바퀴축, 뒷 바퀴축, 서스펜션 등은 타이어나 연결되어 있기 때문에 집중질량으로 모델링하기에는 무리가 있어 보요소를 사용하여 모델링하였으며 축 중간에 있는 메카니즘의 무게를 표현하기 위해 축 중심에 집중질량을 가하였다.

트럭모델의 경우 샤시(Chassis) 부분 및 엔진을 비롯한 잡다한 부품들은 트럭의 프레임 중간에 위치하고 있어 중분대와 충돌시 직접 접촉하지 않기 때문에 모델링하지 않았다. 대신 이들의 무게는 프레임의 무게를 조정하여 충돌조건을 충족시켜 충돌해석에 고려하였다. 차량 모델의 프레임은 변형되지 않는다는 가정하에서 강체로 모델링하였기 때문에 프레임의 밀도를 높이거나 무게를 조정하면 단지 프레임의 무게만 증가할 뿐 모델에 다른 영향을 주지는 않는다. 표 1, 그림 2는 충돌시험에 이용된 대형차와 소형승용차 모델의 요소 정보와 모델링된 형상을 나타낸 것이다.

표 1 차량의 모델링 요소 정보 및 재원

비 고	소형차량	대형차량
부품의 수	193	109
절점(Nodes)의 수	15,783	16,339
셸(Shell)의 수	16,502	17,380
보(Beam)의 수	91	68
바(Bar)의 수	-	8
차량의 총중량	1, 1.3, 3.5Ton	14, 25, 36Ton
차량의 무게중심(C.O.G)	1111x, 0y, 193z	2511x, 0y, 798z
차량의 전장	3934mm	9738mm
차량의 전폭	1620mm	2490mm

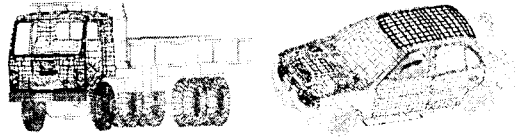


그림 2 대, 소형차량 모델

모의충돌시험에 이용된 콘크리트 중분대들은 어떠한 외력에도 변형과 파괴가 되지 않는 강체로 모델링되었다. 이렇게 전처리 과정을 통해서 구성된 모델은 계산과정을 거치면서 실제 현상을 재현하게 되는데 본 연구에서는 팜크러시(PAM-CRASH)라는 상용프로그램을 이용해서 수치 계산을 수행하였다.

팜크러시(PAM-CRASH)는 비선형 거동체의 동적 거동을 해석할 수 있는 범용 프로그램으로 주로 자동차, 선박, 열차 등의 충돌해석에 사용된다. 팜크러시(PAM-CRASH)는 elastic-plastic의 기본적인 소성거동에서 폼(foam), 고무, 하니콤, 복합재료 등의 복잡한 거동에 이르기까지 57개에 달하는 재료모델을 가지고 있고 다양한 강체 모델과 조인트를 지원한다. 그림 3은 모의충돌시험에 대한 CAE 해석과정을 간단히 나타내었다.

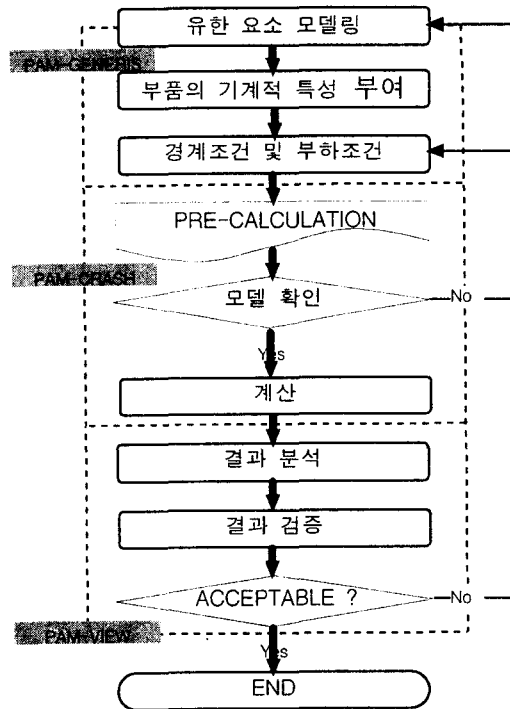


그림 3 CAE 해석과정

### 3. 모의충돌시험

#### 3.1 모의충돌시험 조건

다양한 콘크리트 중분대들에 대한 모의충돌시험들을 통해 중분대에 대한 구조적 안정성을 나타내는 차량

의 X축 회전값인 차량의 롤(Roll)각과 탑승자의 안전성을 나타내는 차량이 받는 중, 횡방향 가속도 및 탑승자의 충돌속도(THIV), 탑승자의 가속도(PHD), 충돌차량의 거동 등을 알아보고 모의충돌시험 충돌해석과 분석비교를 통해 가장 적절한 중분대 형식을 구하고자 한다.

중분대에 대한 모의충돌시험은 형식별로 관리지침의 SB5 등급 충돌시험조건에 따라 수행되었고 중분대 형식으로는 F형, NJ형, 단일경사형, 개선형 중분대가 모의충돌시험에 사용되었다.

콘크리트 중분대에 대한 모의충돌시험의 충돌조건은 도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호 안전시설 편, 건설교통부, 2002. 7)의 고속도로 구간 추천등급인 SB5의 기준에 따라 수행되었고 SB5의 강도성능평가 시험조건과 탑승자보호성능평가 시험조건은 표 2와 같다.

표 2 등급 SB5의 충돌시험조건

등급	충돌속도(km/h)	차량중량(kg)	충돌각도(°)	기준충격도(KJ)
SB5	80	14,000	15	230
	100	1,300	20	-

모의충돌시험의 대상으로 가장 일반적이고 널리 사용되고 있는 중분대 형식 F형, NJ형, 단일경사형, 개선형 콘크리트 중분대가 사용되고 있는 형태 그대로를 사용하였다. 강도성능평가를 위해서는 대형차량으로 충돌시험이 수행되어야 하고 탑승자의 보호성능을 평가하기 위해서는 소형차량 충돌시험이 수행되어야 한다. 강도성능 평가로는 차량의 거동이나 중분대의 파손을 측정해야되고 탑승자의 보호성능을 평가하기 위해서는 차량이 받는 가속도를 측정하여 탑승자의 충돌속도(THIV), 탑승자의 가속도(PHD)를 계산해 기준과 비교 검증해야 한다.

### 3.2 모의충돌시험 결과

#### 1) F형 중분대 충돌해석

모의충돌시험에서 사용된 F형 콘크리트 중분대의 기하학적 형상은 높이는 810mm, 하단과 중단은 75mm, 175mm이고 중분대의 상부폭은 200mm, 하부폭은 580mm이고 F형 콘크리트 중앙분리대는 현재 우리나라 거의 모든 고속도로에 널리 사용되고 있다. 그림 4는 F형 콘크리트 중앙분리대 방호울타리에 충돌조건에 따라 소형차와 대형차가 충돌시 시간에 따라 차량의 거동을 나타낸 것이다.

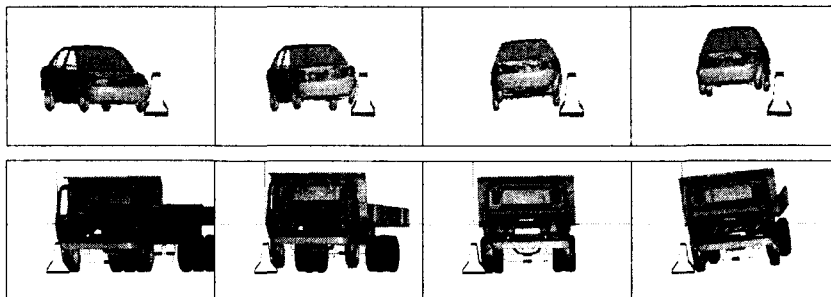


그림 4 F형 중분대 모의충돌시험 장면

F형 중분대에 소형차량 충돌시 차량이 받는 중, 횡방향 가속도 변화를 그림 4에 나타냈다. 이 가속도는 시간에 대한 평균가속도가 아니라 차량의 중심에서 계속된 가공되지 않은 가속도로 탑승자의 안전을 위협하는 20g를 넘어서는 것으로 나타났다. 그리고 차량의 전복을 유도하는 롤각의 변화는 차량 전복의 위험성이 상존해 있을 것으로 판단되었다.

운전자의 보호성능 평가 기준인 탑승자 충격 속도(THIV : Theoretical Head Impact Velocity)는 차량이 중분대에 충돌할 때 탑승자의 충격 위험도를 평가하기 위한 지수로서 운전자나 탑승자의 두부(頭部)가 충돌시 속도와 각도로 등속운동을 한다고 할 때 차량의 좌·우 공간에 부딪힐 때까지 이동하는 속도를 말하고 차량이 구조물에 충돌한 직후, 탑승자는 순간적인 2차 충돌을 받게 된다. 여기서 탑승자 가속도(PHD : Post-impact Head Deceleration)란 탑승자가 1차 충돌로 인해 발생하는 2차 충돌, 즉, 탑승자가 차량 내부에 부딪힐 때 두부가 받게 되는 순간 가속도 값을 의미한다.

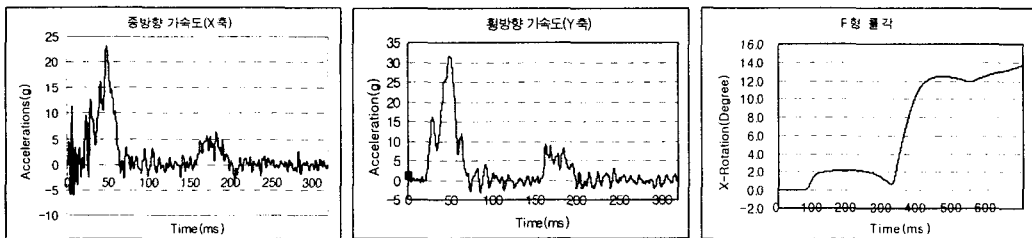


그림 5 F형 중분대에 대한 소, 대형차 가속도 및 롤각 변화

F형 중분대에 대한 모의충돌시험 결과, 탑승자 안전도의 척도인 탑승자 충돌속도(THIV)는 기준치를 0.9 m/s 상회하는 충돌속도가 측정되어 탑승자의 안전에 취약함을 보였으며 탑승자 가속도의 경우에는 기준 20g을 만족하는 결과로 나타났다. 모의충돌시험에서 나타난 충돌차량의 거동은 중분대와 충돌하여 급정지하거나, 전도되어 정지하는 현상은 일어나지 않았으며 또한 대향차나 병행하여 주행하는 차량에 큰 영향을 미치는 거동도 일어나지 않았다. 소형차량 충돌시 전복을 유발할 정도의 큰 롤각은 측정되지 않았지만 대형차량 충돌의 경우는 전복 위험성이 있는 것으로 나타났다.

표 3 F형 중분대에 대한 소형차 탑승자 충돌속도(THIV), 탑승자 가속도(PDH)

탑승자 보호성능 평가기준	단위	한계값	측정값
탑승자 충돌속도(중,횡방향) THIV	m/s(km/h)	9(33)	9.9(35.7)
탑승자 가속도(중,횡방향) PDH	g	20	8.08

주)  $g : 9.8m/s^2$

## 2) 개선형 콘크리트 중분대 충돌해석

모의충돌시험에 사용된 일명 개선형 콘크리트 중앙분리대는 높이가 1,270mm로 기하학적 형상은 F형 콘크리트 중앙분리대 방호울타리와 하단(75mm), 중단(175mm)의 길이가 같지만 상단의 길이가 1,020mm로 F형 콘크리트 중앙분리대 방호울타리의 상단(560mm)길이보다 460mm가 길고 상부폭은 150mm, 하부폭은 610mm인 형상으로 구성되었다. 개선된 콘크리트 중앙분리대의 높이는 자동차 무게중심과 소요높이의 상관관계를 검토한 결과 방호벽의 높이가 50"(127cm)일 경우 트럭의 충돌에도 전도를 방지할 수 있는 것으로 나

타나 결정되었다.

개선형 중분대에 대한 소형차량 모의충돌시험 결과, 탑승자의 충돌속도와 가속도는 기준치를 만족하였고 소형차량의 충돌 후 거동 또한 양호한 것으로 나타났다. 그리고 대형차량의 경우 전복을 일으키는 롤각이 측정되지 않았지만 F형 중분대처럼 위험성은 상존해 있었다. 각각의 시험 결과를 비교 검토해 보면 탑승자의 충돌속도와 가속도는 개선형 중분대가 F형에 비해 1.61m/s, 0.06g 작게 측정되어 안전성 면에서 개선형이 더 나은 구조인 것으로 나타났으며 특히 대형차량 충돌시 차량의 거동면은 개선형이나 F형이 비슷한 롤각이 측정되었다.

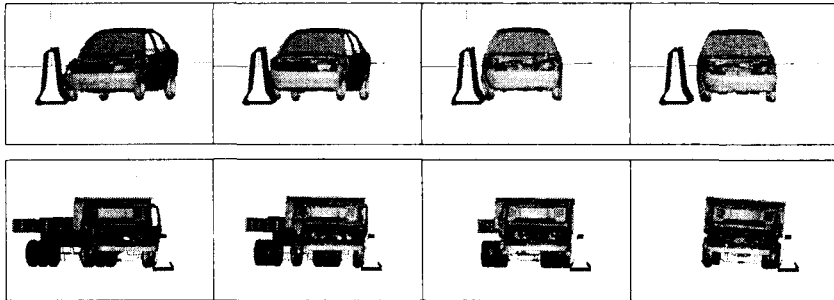


그림 6 개선형 중분대 소, 대형차 모의충돌시험 장면

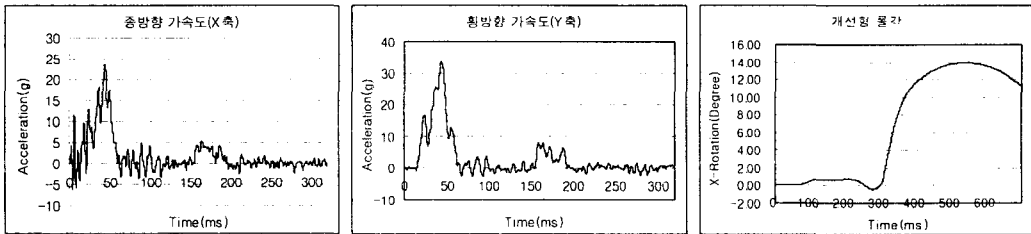


그림 7 개선형 중분대에 대한 소, 대형차 가속도 및 롤각 변화

표 4 개선형 중분대에 대한 소형차 탑승자 충돌속도(THIV), 탑승자 가속도(PDH)

탑승자 보호성능 평가기준	단위	한계값	측정값
탑승자 충돌속도(중,횡방향) THIV	m/s(km/h)	9(33)	8.29(29.8)
탑승자 가속도(중,횡방향) PDH	g	20	8.02

주)  $g : 9.8m/s^2$

형식별 콘크리트 중분대에 대한 소형, 대형차량 모의충돌시험 결과들을 비교 정리해 보면 소형차량의 경우 탑승자의 안전성 측면에서는 개선형이 가장 안전하였고 대형차량의 경우 단일경사형이 전복에 대해서는 가장 안정적인 구조를 가지고 있는 것으로 나타났다.

소형차량에 대한 모의충돌시험 결과 탑승자 보호성능평가기준을 만족하는 형식의 중분대는 개선형이 유일했고 대형차량의 모의충돌시험 결과 높은 롤각이 측정된 형식은 NJ형이었지만 전복된 대형차량의 거동은 측정되지 않아 모든 형식이 수준 이상의 성능으로 나타났다.

## 4. 결 론

콘크리트 중분대의 구조적 안정성 및 충돌해석을 위해 유한요소법이 사용된 충돌전용 소프트웨어인 팜-크래쉬(PAM-CRASH)을 이용하여 모의충돌시험을 수행하였다.

콘크리트 중분대의 형식을 다르게 하면서 모의충돌시험을 수행한 후 충돌해석 및 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

- 최적의 중분대 형식을 도출하기 위해 모의충돌시험을 수행한 결과, 형식별로 유사한 가속도와 물가이 측정되어 뚜렷한 우열을 가리기는 어려웠으나 탑승자의 안전도 측면에서는 개선형 중분대가 평가기준면에서 만족스럽게 측정되었고 구조적 안정성을 나타내는 대형차량의 거동은 모든 형식에서 전복차량은 발견되지 않았다.
- 모의충돌시험 결과데이터를 종합적으로 비교분석한 결과 최적의 중분대 형식과 높이는 개선형 중분대로 나타났다. 모의충돌시험은 가상현실을 현실화하려고 여러 가지 가정을 전제하에 수행되었으므로 실물차량 충돌시험을 통한 검증절차가 꼭 필요한 실정이다.

## 참고문헌

1. 건설교통부. 도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호안전시설편). 2001.7
2. 한국도로공사. 고속도로 건설공사 표준도. 2001
3. 포항산업과학연구원, '교량 및 도로용 철재 방호시설물 실용화 연구', 1998.
4. 한국도로공사, "고속도로공사 전문시방서(토목편)", 1998.
5. 한국도로공사, "도로설계실무편람(부대공)", 1996.
6. 한국도로공사, "도로설계요령 - 제6권 도로안전 및 부대시설", 1992.
7. 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.