

■ 論 文 ■

컴퓨터 모의충돌시험을 통한 콘크리트 중앙분리대 방호울타리 형식별 성능비교 연구

A Comparison of Concrete Median Barriers in terms of Safety
Performance using Computer Simulation

정 봉 조

(한국도로공사 책임연구원)

장 명 순

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- | | |
|-------------|-----------------|
| I. 서론 | 1. 모의충돌시험 조건 |
| II. 모델링 | 2. 모의충돌시험 |
| 1. 중분대 시설 | IV. 중분대 성능비교 분석 |
| 2. 시험차량 | V. 결론 |
| III. 모의충돌시험 | 참고문헌 |

Key Words : 중분대 시설, 컴퓨터 모의충돌시험, 실물차량 충돌시험, 충돌가속도, 구조적 안정성

요 약

콘크리트 중앙분리대 방호울타리(이하 중분대 시설)는 대표적인 강성 방호울타리로 사고차량의 중앙선 침범으로 인한 대향차량과의 충돌사고 방지를 위해 설치된다. 중앙분리대 폭을 충분히 할 수 없는 우리나라의 도로 여건상 콘크리트 중앙분리대 방호울타리의 설치는 불가피하게 받아들여 지고 있으며 특히 유지관리 비용 측면에서 현실적인 대안으로 받아들여지고 있어 널리 사용되고 있다.

기존의 중분대 시설은 일반적으로 810mm 높이의 콘크리트 구조 위에 596mm 높이의 방현망을 추가하는 구조를 가지고 있으나 차량의 대형화 추세로 인해 현재 중분대 시설을 승월하는 교통사고가 빈번히 일어나고 중분대 상단의 방현망이 파괴되면서 2차 사고를 유발하는 경우가 발생하여 최근 들어 중분대 시설의 형식 개선이 요구되었다.

이러한 요구에 의해 가장 일반적이고 널리 사용되고 있는 F형과 NJ형, 약 80도의 단일경사면을 사용한 단일경사형, 방현망을 없애고 순수한 콘크리트 방호울타리의 높이를 1,270mm로 높은 개선형 중분대 시설 형식에 대해 적정 대안을 찾아내고자 컴퓨터를 이용하여 모의 차량충돌시험을 수행하였다. 모의충돌시험에서는 구조적 안전성을 측정할 위해 대향차량의 롤(Roll)각을 측정하였고 소형차량의 경우 탑승자보호성능평가를 위해 차량이 받는 중, 횡방향 가속도 및 탑승자의 충돌속도(THIV), 탑승자의 가속도(PHD)를 측정하고 이들을 비교 검토하였다. 각 형식에 대한 컴퓨터 모의충돌시험 결과들을 종합적으로 비교 분석한 결과 차량의 안정성과 탑승자보호 성능에서 개선형 중분대 시설이 가장 안전한 것으로 나타났다.

1. 서론

도로에서 중앙분리대는 왕복방향의 교통류를 분리하여 차량통행의 안전성이 유지되도록 하고 측방여유를 확보함으로써 운전자에게 심리적 안정감을 제공함과 동시에 운전자의 시선을 유도하는 기능을 가지고 있다. 그러나 우리나라의 경우에는 중앙분리대를 위한 충분한 용지확보가 어려운 상황에서 방호울타리나 연석 등을 이용하여 주행차량의 안전성을 확보하는 경우가 대부분이다.

중분대 방호울타리는 중분대 측으로 차로를 이탈한 차량이 방향을 회복할 수 있는 충분한 공간이 부족한 도로구간에서 이탈차량이 대향차로로 진입하는 것을 효과적으로 방지하기 때문에 우리나라의 다차로 도로에서 주된 중앙분리대 시설로 사용되어져 왔다. 더욱이 유지관리측면에서 경미한 차량충돌 발생 시 보수할 필요가 거의 없으며 장기간에 걸쳐 유효한 방호성능을 발휘하기 때문에 다른 재료의 방호시설에 비해 효율적인 중분대 시설로 인식되어 초기의 New Jersey형을 비롯하여 F형, 단일 경사형 등의 다양한 형태를 갖는 중앙분리대 시설이 설치되었으며 최근에는 F형을 개량하여 방현기능을 첨가한 개선형 중분대 방호울타리가 고속도로의 표준 중분대 시설로 채택되어 설치되고 있다.

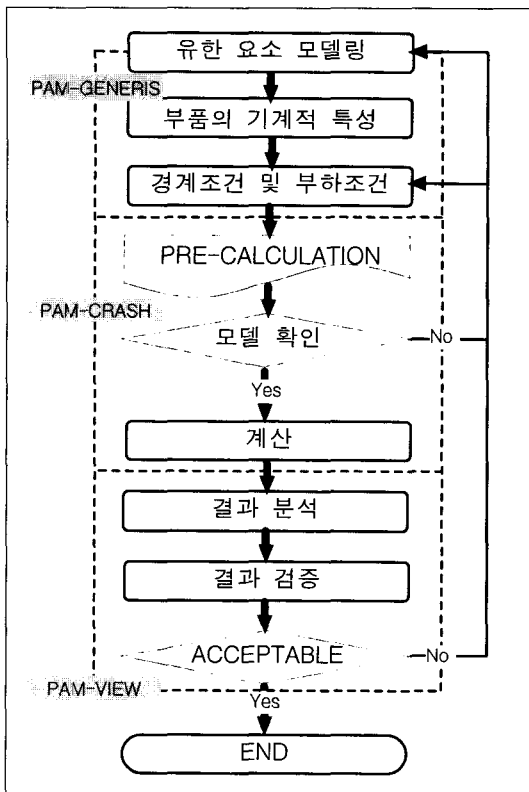
중분대 시설이 개발되고 활발하게 적용되는 미국의 경우에는 초기의 New Jersey형이 가장 일반적인 형식으로 사용되고 있지만, 1970년 이후에는 General Motors(GM)형, F형 등이 사용되었고 최근 들어서는 몇몇 주(州)에서 단일경사형 중앙분리대 시설이 부분적으로 도입되고 있다.

우리나라는 그동안 810mm 높이의 콘크리트 구조 위에 596mm 높이의 방현망이 추가된 구조를 가지고 있는 F형 중분대 시설을 고속도로를 중심으로 사용하여 왔으나 차량의 대형화와 고속화로 인하여 차량이 승월하는 교통사고나 방현망이 파괴되면서 2차 사고를 유발하는 경우가 빈번히 일어나고 있어 중분대 시설의 형식 개선이 요구되어 왔다.

본 연구에서는 여러 가지 중분대 시설 형식에 대하여 우리 고속도로의 교통환경에 적합한 대안을 찾고자 도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호 안전시설 편, 건설교통부, 2002. 7. 이하 지침)의 고속도로

구간 추천등급인 SB5의 기준에 따라 컴퓨터 모의충돌실험을 수행하였다. 평가대상 중분대 시설로는 높이 810mm의 F형 중분대 시설과 높이 1,270mm의 F형을 개량한 개선형 중분대 시설, 단일 경사형, NJ형 등 4가지가 선택되었고, 이들에 대하여 차량충돌시 차량의 전복과 밀접한 관계가 있는 롤(Roll)각과 차량 탑승객의 안전도를 평가하는 차량이 받는 가속도, 관리지침의 탑승객보호성능 평가기준인 탑승자 충돌속도(Theoretical Head Impact Velocity), 탑승자 가속도(Post-impact Head Deceleration)를 컴퓨터 모의충돌실험을 통해 측정하여 비교 평가하였다. 컴퓨터 모의충돌실험을 수행하기 위해서는 먼저 충돌차량과 중분대 시설에 대해 유한요소 모델링 작업이 수행되어야 한다. 실물을 묘사한 캐드 데이터를 바탕으로 각 부품이나 형상에 따라 모의충돌실험 환경에 적당한 크기의 유한 요소들을 만들었다. 각 모델에 대해 기계적 특성 및 물성치를 입력하고 모의충돌실험에 알맞은 경계 및 하중조건을 부여하는 등 모든 전처리과정(Pre-Process)을 마친 다음 전체 모델링이 모의충돌실험을 수행하기에 적합한지 간단한 수치해석(Pre-Calculation)을 통해 확인한다. 이런 일련의 과정 후 중분대 시설에 대한 수치해석이 이루어지고 해석결과를 분석, 검증하는 절차 순으로 본 연구의 모의충돌실험이 수행되었다. 모의 충돌실험에 사용된 충돌전용해석 프로그램인 PAM-CRASH의 모의충돌실험절차를 간단히 순서도로 표현하면 다음과 같다.

모의충돌실험에 사용된 충돌전용 해석프로그램인 PAM-CRASH는 국내외 유명 자동차 회사에서 새로운 차량을 개발하기 위한 시뮬레이션 충돌프로그램으로 널리 사용되어 그 성과를 이미 세계적으로 널리 인정받아 왔다. 또한 신공항 고속도로 영종대교의 교량용 방호울타리, 충격흡수용 철재 중앙분리대 방호울타리 등 국내 도로안전시설물 개발을 위한 충돌 시뮬레이션 프로그램으로 이미 사용되어 그 실용성을 널리 인정받고 있다. 본 논문에서 사용된 차량모델은 충격완화형 철재 중앙분리대 방호울타리의 개발 연구(1997), 교량난간의 구조적 안정성에 관한 연구(1998), 교강도 철재 교량용 방호울타리 개발연구(2000)의 모의충돌실험에 사용되어 성공적으로 연구개발을 수행한 바 있다.

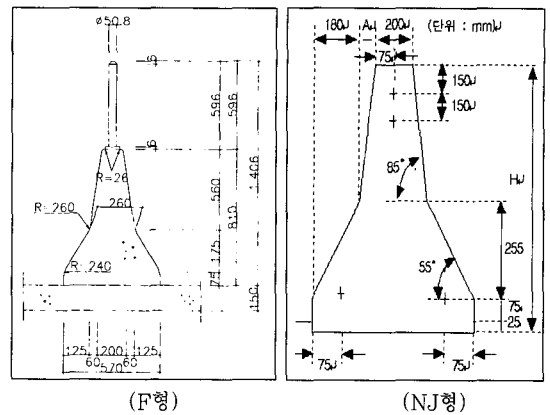


〈그림 1〉 모의충돌시험에 대한 Computer Aided Engineering 해석과정

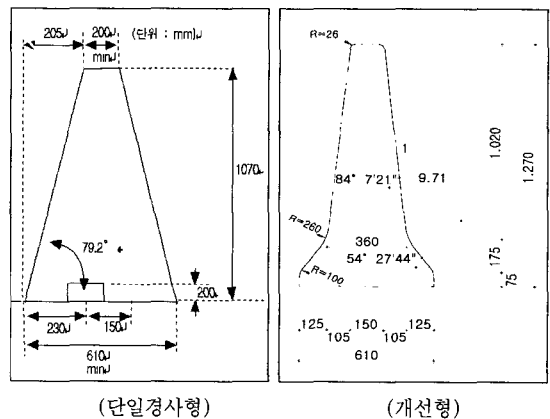
II. 모델링

1. 중분대 시설

모의충돌시험에 이용된 F형, NJ형, 단일경사형, 개선형 중분대는 기존의 연구결과를 고려해 차량의 충돌에 대하여 변형과 파괴가 되지 않는다는 가정 하에 Rigid Body로 모델링 되었다. 중분대 시설의 유한요소 모델을 만들기 위한 Mesh 프로그램으로 HyperMesh를 사용하였다. 이 프로그램을 사용하기 전에 먼저 중분대 시설들의 정확한 도면을 확보하고 Auto CAD를 이용해 설계도면을 작성했다. 엔지니어링 시뮬레이션을 빠른 시간 내에 완벽하게 수행하기 위해 기 작성된 다양한 CAD System의 형상 데이터를 HyperMesh에서 불러들여 도면화 작업 등의 중간단계를 거치지 않고 바로 유한요소모델 생성과 수정을 간단히 수행하였다. 중분대 시설들이 강체로 정의되어 별도의 물성치를 경계조건으로 입력하지는 않았다. 4가지 중분대



〈그림 2〉 중분대 시설들의 표준도(1)



〈그림 2〉 중분대 시설들의 표준도(2)

시설의 모델링 형상과 규격은 〈그림 2〉와 같다.

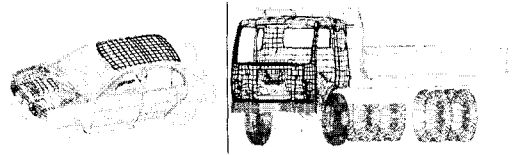
모의충돌시험에서 사용된 F형 중분대 시설의 기하학적 형상은 높이가 810mm이고 중분대의 상부폭은 200mm, 하부폭은 570mm이며 F형 중분대 시설은 현재 우리나라 거의 모든 고속도로에 널리 사용되고 있고, NJ형의 경우 높이는 810mm, 상부 폭은 200mm, 하부폭은 660mm로 구성되어 있다. 단일경사형 중분대 시설은 개발 당시부터 높이가 F형, NJ형처럼 810mm로 만들어지지 않고 중·대형차를 고려해 1,070mm의 높이로 만들어졌으며 단일경사형 중분대는 국내 도로에는 아직까지 시공된 사례가 없다. 개선형 중분대 시설은 높이가 1,270mm로 F형 중분대 시설과 하단(75mm), 중단(175mm)의 길이가 같지만 상단의 길이가 F형 중분대 시설의 상단(560mm)길이보다 460mm가 긴 1,020mm이며 상부폭은 150mm, 하부폭은 610mm인 형상으로 구성되어 있다.

2. 시험 차량

모의충돌시험에 사용된 충돌시험차량은 소형승용차와 대형차 2가지로 나누어 모델링을 되었다. 지면은 강체로 모델링하였으며 차량과 지면은 서로 접촉되어 있으나 차량과 지면의 마찰력은 시뮬레이션에 큰 영향을 주지 않으므로 존재하지 않는 것으로 가정하였고 충돌시 차량이 공중으로 뜨게 될 가능성이 많으므로 중력가속도를 부여해 차량의 거동을 현실화되도록 하였으며, 차량과 방호울타리의 접촉은 마찰력이 있는 것으로 가정해 경계조건을 부여하였다.

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

트럭모델의 경우 사시(Chassis) 부분 및 엔진을 비롯한 잡다한 부품들은 트럭의 프레임 중간에 위치하고 있어 중분대와의 충돌시 직접 접촉하지 않기 때문에 모델링을 하지 않았다. 대신 이들의 무게는 프레임의 무게를 조정하여 충돌조건을 충족시켜 충돌해석에 고려하였다. 차량 모델의 프레임은 변형되지 않는다는 가정하에서 강체로 모델링을 하였기 때문에 프레임의 밀도를 높이거나 무게를 조정하면 단지 프레임의 무게만 증가할 뿐 모델에 다른 영향을 주지는 않는다. <표 1>과 <그림 3>은 충돌시험에 이용된 소형승용차와 대형차 모델의 요소정보 및 재원, 모델링된 형상을 나타낸 것이다. 여기서 사용한 두 차량의 모델은 충격흡수시설과 교량용 방호울타리의 모의충돌시험에도 적용한 바 있으며 실제 충돌시험의 결과를 잘 반영하는 것으로 나타났다.



<그림 3> 소형승용차 및 대형차 유한요소 모델구조

III. 모의충돌시험

1. 모의충돌시험 조건

방호울타리의 성능검증은 도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호안전시설 편, 건설교통부)의 기준에 따라 실시하였다. 지침에서의 방호울타리의 성능평가는 방호울타리의 충격도를 기준으로 한 등급에 대해 주어진 시험조건에 따라 실물차량 충돌시험 시, 구조적 안전성능, 탑승객 보호성능, 충돌 후 차량의 안전성능 등의 기준으로 평가하고 있다. 콘크리트 중분대 시설의 구조적 안전성능 기준으로는 대형차량을 이용한 충돌시험에서 방호울타리의 구성부재가 도로 상이나 도로 밖으로 비산하여 탑승자나 제3자에게 피해를 주지 않아야 하고 차량이 방호울타리를 돌파하지 않아야 한다. 탑승자 보호성능은 차량이 받는 가속도를 측정하여 탑승자의 충돌속도(THIV:Theoretical Head Impact Velocity), 탑승자의 가속도(PHD:Post-impact Head Deceleration)를 계산해 기준과 비교한다. 탑승객의 보호 성능평가를 위해서는 승용차를 시험차량으로 사용하며 시험결과에 대한 탑승자 보호성능의 평가기준은 <표 2>와 같다.

충돌 후 차량의 안전성능 기준으로는 차량이 방호울타리와 충돌하여 급정지하거나 전도되어 차도 안에 정지하지 않아야 하며 또한 대향차나 병행하여 주행하는 차량에 큰 영향을 미치는 거동이 없어야 한다.

본 연구에서는 중분대 시설에 대한 구조적 안정성을 중분대의 구조성능과 충돌 후 차량의 거동으로 검증했으며 충돌 후 차량의 거동을 정밀하게 파악하기 위해 차량의 X축 회전 각인 차량의 롤(Roll)각의 크

<표 1> 차량의 모델링 요소 정보 및 재원

구성	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	1,300kg	14,000kg
차량의 무게중심	1111x, 0y, 193z	2511x, 0y, 798z
차량의 전장	3934mm	9738mm
차량의 전폭	1620mm	2490mm

<표 2> 탑승자 보호 성능 평가기준

탑승자 보호성능 평가기준	단위	한계값
탑승자 충돌속도(중, 횡방향)THIV	m/s(km/h)	9(33)
탑승자 가속도(중, 횡방향)PHD	g	20

〈표 3〉 등급 SB5의 충돌시험조건

등급		충돌 속도 (km/h)	차량 중량 (kg)	충돌 각도 (°)	기준 충격도 (KJ)
SB5	방호울타리의 구조적 안정성 성능평가	80	14,000 (대형차)	15	230
	탑승자 보호성능평가	100	1,300 (소형차)	20	-

기로 비교검토 했으며 충분대 시설에 대한 탑승자의 안전성은 차량이 받는 종, 횡방향 가속도 및 탑승자의 충돌속도(THIV), 탑승자의 가속도(PHD)로 검증하였다. 본 연구에서는 충분대 시설에 대한 모의 충돌시험의 충돌조건으로 지침에서 규정한 고속도로 일반구간의 중앙분리대 방호울타리의 평가시험인 SB5의 기준에 따라 수행하였고 시험조건은 〈표 3〉과 같다.

시설물의 구조적 안정성을 평가하기 위한 시험은 중량이 큰 차량을 시설물에 충돌시켜 시설물이 강한 충격에 저항할 수 있는지 평가하게 되는 것이고, 탑승자 보호성능을 평가하기 위한 시험은 중량이 작은 차량을 시설물에 충돌시켜 차량 내부에 탑승한 것으로 가정된 탑승자의 피해정도를 평가하는 것이다.

탑승자의 충돌속도는 차량이 충분대에 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 되고 탑승자의 가속도란 탑승자가 1차 충돌로 인해 발생하는 2차 충돌, 즉 탑승자가 차량 내부에 부딪힐 때 두부가 받게 되는 순간 가속도 값을 의미하는 것으로 계산방법은 다음과 같다.

(1) 절차 1 : 차량 가속도(\ddot{x} , \ddot{y}) 및 각속도($\dot{\psi}$)를 초당 S회 측측하여 저장한다. 기록된 자료를 ${}^k\ddot{x}_c$, ${}^k\ddot{y}_c$ 및 ${}^k\dot{\psi}$ ($k=1, 2, \dots, N$)라 정한다. 파일의 자료간 시간 간격 $h=kt-(k-1)t=1/S$ 이다.

(2) 절차 2 : 계측된 $\dot{\psi}$ 를 적분하여 ψ 를 얻는다.

$${}^1\psi = \psi_0 ; {}^2\psi = {}^1\psi + h \frac{{}^1\dot{\psi} + {}^2\dot{\psi}}{2} ; \dots$$

$$; {}^{k+1}\psi = {}^k\psi + h \frac{{}^k\dot{\psi} + {}^{k+1}\dot{\psi}}{2}$$

(3) 절차 3 : 지상 좌표계 XY에 대한 차량 가속도를 구한다.

$${}^k\ddot{X}_c = {}^k\ddot{x}_c \cos {}^k\psi - {}^k\ddot{y}_c \sin {}^k\psi$$

$${}^k\ddot{Y}_c = {}^k\ddot{x}_c \sin {}^k\psi + {}^k\ddot{y}_c \cos {}^k\psi$$

(4) 절차 4 : 지상 좌표계에 대한 차량 가속도를 적분한다.

$${}^1\Delta\dot{X}_c = V_0, {}^{k+1}\Delta\dot{X}_c = {}^k\Delta\dot{X}_c + h \frac{{}^k\ddot{X}_c + {}^{k+1}\ddot{X}_c}{2}$$

$${}^1\Delta\dot{Y}_c = 0, {}^{k+1}\Delta\dot{Y}_c = {}^k\Delta\dot{Y}_c + h \frac{{}^k\ddot{Y}_c + {}^{k+1}\ddot{Y}_c}{2}$$

$${}^1\Delta X_b = X_0, {}^{k+1}\Delta X_b = {}^k\Delta X_b - h \frac{{}^k\Delta\dot{X}_c + {}^{k+1}\Delta\dot{X}_c}{2}$$

$${}^1\Delta Y_b = 0, {}^{k+1}\Delta Y_b = {}^k\Delta Y_b - h \frac{{}^k\Delta\dot{Y}_c + {}^{k+1}\Delta\dot{Y}_c}{2}$$

(5) 절차 5 : 탑승자 머리의 상대 위치와 상대 속도의 시간 이력을 계산한다.

$${}^kx_b(t) = {}^k\Delta X_b \cos {}^k\psi + {}^k\Delta Y_b \sin {}^k\psi$$

$${}^ky_b(t) = -{}^k\Delta X_b \sin {}^k\psi + {}^k\Delta Y_b \cos {}^k\psi$$

$${}^kv_x(t) = -{}^k\Delta\dot{X}_c \cos {}^k\psi - {}^k\Delta\dot{Y}_c \sin {}^k\psi + {}^ky_b {}^k\dot{\psi}$$

$${}^kv_y(t) = {}^k\Delta\dot{X}_c \sin {}^k\psi - {}^k\Delta\dot{Y}_c \cos {}^k\psi - {}^kx_b {}^k\dot{\psi}$$

(6) 절차 6 : 아래 세 식을 만족시키는 j중 최소값을 구한다. {j=min(j)}

$${}^jx_b = D_x + X_0 \text{ 또는 } {}^jy_b = D_y$$

$$\text{또는 } {}^jy_b = -D_y$$

(7) 절차 7 : THIV를 계산한다.

$$THIV = [{}^jv_x^2 + {}^jv_y^2]^{1/2}$$

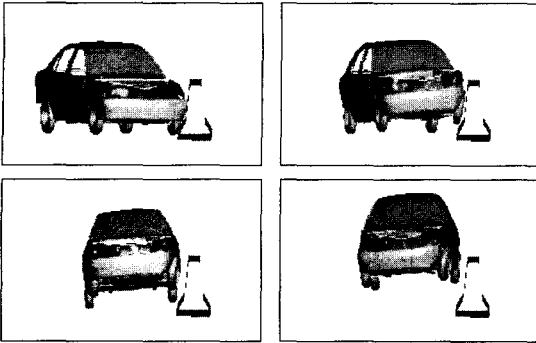
(8) 절차 8 : 10ms의 평균 $\langle {}^k\ddot{x}_c \rangle$ 및 $\langle {}^k\ddot{y}_c \rangle$ 를 계산하여, 최대값을 PHD로 한다.

$$PHD = MAX(\langle \ddot{x}_c \rangle^2 + \langle \ddot{y}_c \rangle^2)^{1/2}, t > T$$

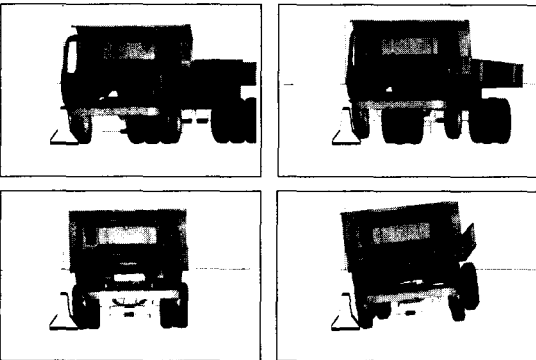
2. 모의충돌시험

1) F형 충분대 시설

〈그림 4〉 및 〈그림 5〉는 F형 충분대 시설에 차량이 충돌하는 동안 거동을 나타낸 것이다. 모의충돌시험의 총 충돌시간은 소형차 300ms, 대형차 600ms이다. 소형차와 대형차는 충돌동안에 앞바퀴부분이 약간 들러 충분대 시설을 타는 현상은 나타났으나 차량전복이나 큰 파손은 발생하지 않았다. 그러나 대형차의 경우 2차 충돌시 뒷바퀴가 약간 들리는 등 다소간 전복의 위험성을 갖는 것으로 나타났으나 차량전복이나



〈그림 4〉 F형 중분대 시설에 대한 소형차 모의충돌시험 장면

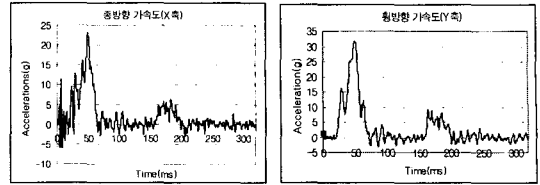


〈그림 5〉 F형 중분대 시설에 대한 대형차 모의충돌시험 장면

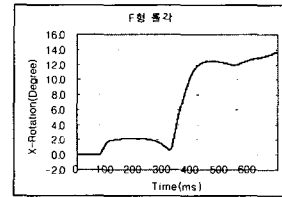
급정지 같은 현상 등은 발생하지 않았고 중분대 시설을 파괴하거나 승월하지 않아 구조적으로는 안정적인 것으로 나타났다. 중분대의 파손이나 비산현상은 중분대를 강제로 모델링했으므로 본 모의충돌시험에서는 표현이 불가능하였으나 콘크리트 중분대 시설은 대표적인 강성 방호울타리임으로 비산이나 파손은 거의 없는 것으로 간주해도 구조적 안정성에 크게 영향을 주지 않을 것이다.

소형차량 충돌시 차량이 받는 종, 횡방향 가속도 변화는 〈그림 6〉와 같다. 이 가속도는 차량의 중심에서 계측된 가공되지 않은 것으로 최초의 충돌이 일어나는 지점에서 가장 큰 가속도가 측정되었고 그 값은 종가속도 23g, 횡가속도 32g로 나타났다. 2차 충돌은 최초의 충돌이 있는 후 약 100ms 후에 나타났으며 이때의 종가속도 6g, 횡가속도 10g로 측정되었다.

〈표 4〉와 같이 계측된 가속도의 환산에 의해서 표현되는 탑승자 충돌속도는 9.9m/s로 기준 9m/s를 상회하여 탑승자의 안전에 취약함을 보였으며, 탑승자



〈그림 6〉 소형차의 중횡방향 가속도 변화



〈그림 7〉 대형차 롤각 변화

〈표 4〉 F형 중분대에 대한 소형차 탑승자 충돌속도(THIV), 탑승자 가속도(PHD)

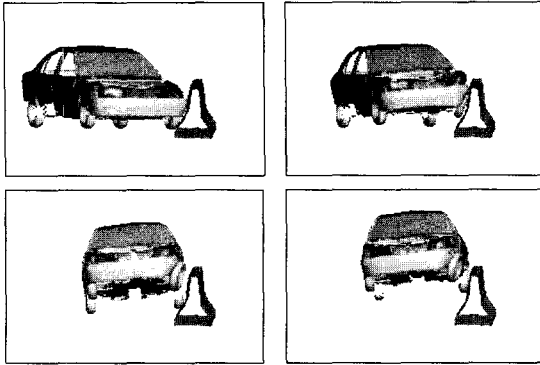
탑승자 보호성능 평가기준	단위	한계값	측정값
탑승자 충돌속도(THIV)	m/s	9	9.9
탑승자 가속도(PHD)	g	20	8.08

가속도는 8.08g로 기준인 20g를 만족하는 것으로 나타났다. 대형차량의 충돌에 의한 롤각은 2차 충돌이 완료된 후부터 커져서 최고 약 14도까지 증가하는 것으로 측정되었고 충돌 중 롤각의 변화는 〈그림 7〉과 같다. 충돌중 차량의 거동은 중분대와 충돌하여 급정지하거나 전도되어 정지하는 현상은 일어나지 않았으며 이탈각도 또한 같은 방향으로 주행하는 차량에 대하여 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

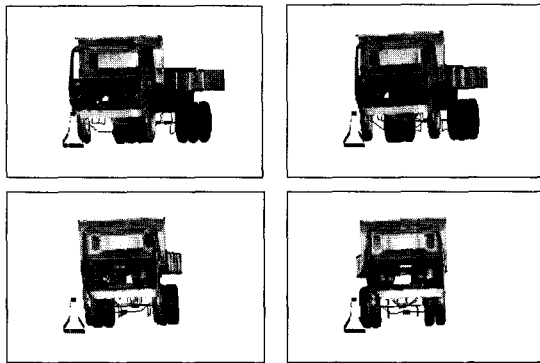
2) NJ형 중분대시설

〈그림 8〉과 〈그림 9〉는 NJ형 중분대 시설에 대한 소형차와 대형차의 모의충돌시험 시 차량거동을 나타낸 것이다. 소형차나 대형차는 충돌동안 F형 중분대 시설과 비슷한 거동을 보였다. 대형차의 경우 2차 충돌 후 롤각이 크게 증가하면서 전복의 가능성이 다른 중분대 시설에 비해 상대적으로 크게 나타났으나 차량의 전복이나 급정지 같은 현상은 발생되지 않았으며 대형차나 병행하여 주행하는 차량에 큰 영향을 미치는 거동이 일어나지 않아 구조적으로는 안정적인 것으로 나타났다.

모의충돌시험에서는 탑승객의 안전성을 평가하기 위해서 측정된 종방향, 횡방향 가속도는 〈그림 10〉과

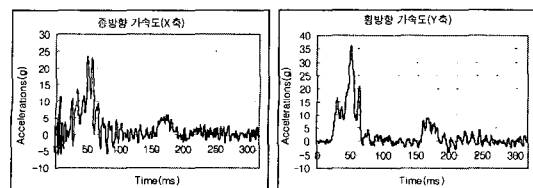


〈그림 8〉 NJ형 중분대 시설에 대한 소형차 모의충돌시험 장면

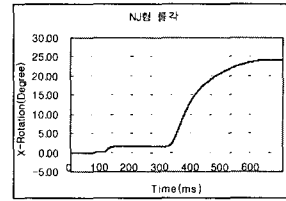


〈그림 9〉 NJ형 중분대 시설에 대한 대형차 모의충돌시험 장면

같이 나타났고 최고 종, 횡방향 가속도는 24g와 36g로 측정되었다. NJ형 중분대의 종, 횡방향 가속도의 변화 그래프는 F형 중분대 가속도 변화 그래프와 거동이나 경향이 유사하지만 최고 가속도가 약간 높게 측정되었다. 〈표 5〉와 같이 안전성 평가를 위하여 환산된 탑승자 충돌속도는 10.9m/s로 기준을 초과하는 것으로 나타났고 탑승자의 가속도는 8.18g로 기준을 만족하였다. 차량의 전복가능성의 평가에 있어서는 〈그림 11〉에서 볼 수 있듯이 대형차는 1차 충돌에 대하여 앞바퀴 부분이 약간 들리는 정도의 비교적 안정적인 거동을 보였으나 곧 이은 2차 충돌 후에 급



〈그림 10〉 소형차 종횡방향 가속도 변화



〈그림 11〉 대형차 롤각 변화

〈표 5〉 NJ형 중분대에 대한 소형차 탑승자 충돌속도(THIV), 탑승자 가속도(PHD)

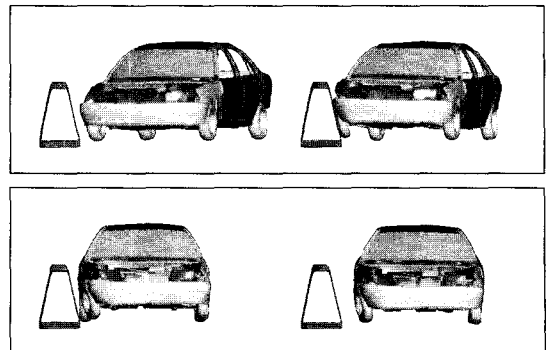
탑승자 보호성능 평가기준	단위	한계값	측정값
탑승자 충돌속도(THIV)	m/s	9	10.9
탑승자 가속도(PHD)	g	20	8.18

격하게 롤각이 25도까지 증가하여 전복의 가능성이 높게 나타났다.

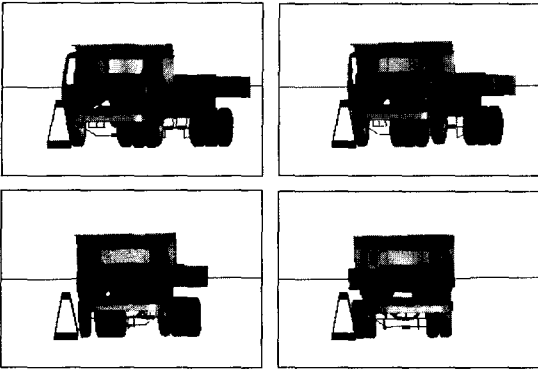
3) 단일경사형 중분대 시설

모의충돌시험 결과 〈그림 12〉와 〈그림 13〉과 같이 충돌동안 1차 충돌에서 앞바퀴가 약간 들리는 정도로 전복에 대하여 안전적으로 거동하고 있는 것으로 나타나 단일경사형의 경우 소형차나 대형차 모두에 있어서 다른 형식과 비교해서 상대적으로 전복의 가능성이 적은 것으로 나타났다.

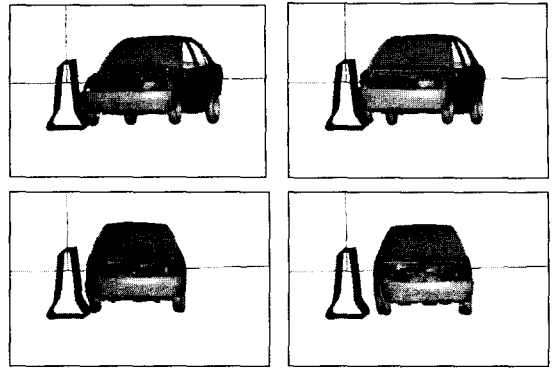
단일경사형에 대한 모의충돌시험 결과 〈그림 14〉와 같이 소형차량이 받는 종방향, 횡방향 가속도가 32g, 43g로 상대적으로 높게 측정되었고 〈표 6〉과 같이 환산된 탑승자 충돌속도는 15.5m/s로 나타나 기준치를 상회하였고 탑승자 가속도는 15.07g로 나타나 기준을 만족하였다. 〈그림 15〉는 대형차량의 충돌시 롤각의 변화를 나타낸 것으로 2차 충돌이 일어난 후에



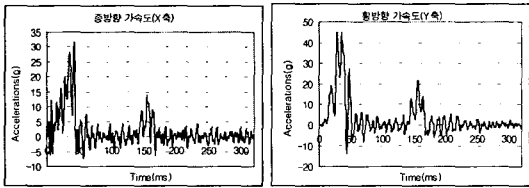
〈그림 12〉 단일경사형 중분대 시설에 대한 소형차 모의충돌시험 장면



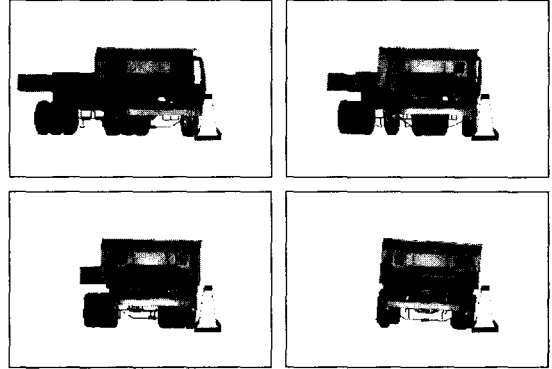
<그림 13> 단일경사형 중분대 시설에 대한 대형차 모의 충돌시험 장면



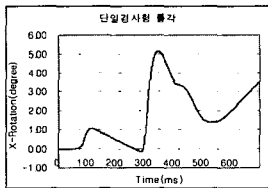
<그림 16> 개선형 중분대 시설에 대한 소형승용차 모의 충돌시험 장면



<그림 14> 소형차 종횡방향가속도 변화



<그림 17> 개선형 중분대 시설에 대한 대형차 모의 충돌 시험 장면



<그림 15> 대형차 물각 변화

<표 6> 단일경사형 중분대에 대한 소형차 탑승자 충돌속도 (THIV), 탑승자 가속도(PHD)

탑승자 보호성능 평가기준	단위	한계값	측정값
탑승자 충돌속도(THIV)	m/s	9	15.5
탑승자 가속도(PHD)	g	20	15.07

물각이 증가하는 양상을 보여주고 있으며 그때의 최대 물각은 5도로 측정되었다. 단일 경사형 중분대 시설은 충돌속도가 다른 시설에 비해 다소 높게 나타나고 있으나 충돌시 차량의 거동은 매우 안정적인 것으로 나타났다.

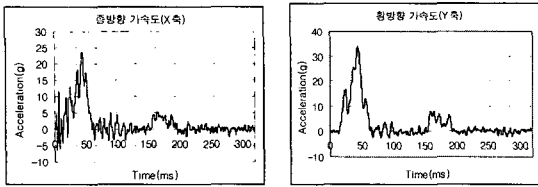
4) 개선형 중분대 충돌해석

모의충돌시험에 사용된 개선형 중분대시설의 기하학적 형상은 F형 중분대 시설과 유사하다. 하단(75mm), 중단(175mm)의 길이는 F형과 동일하나 상단의 길

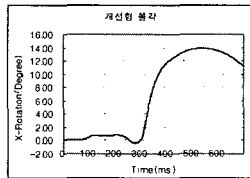
이가 1,020mm로 F형보다 460mm 길고 상부폭은 150mm, 하부폭은 610mm이다. 개선형 콘크리트 중앙분리대의 높이는 자동차 무게중심과 방호울타리 소요높이의 상관관계를 검토하여 결정되었으며, 대형차로의 주행차량 전조등에 대한 방편기능까지 고려되었다. 외국의 선행 연구결과에 의하면 방호벽의 높이가 127cm일 경우 대형차의 충돌시에도 차량전도를 방지할 수 있는 것으로 나타났다.

개선형 중분대에 대한 소형차와 대형차량의 충돌동안 차량의 거동은 <그림 16>과 <그림 17>과 같이 나타났다. 외형적인 유사함에 따라 F형 중분대 시설과 비슷한 거동을 보이고 있음을 알 수 있었다.

대형차의 경우는 2차 충돌후에 뒷바퀴가 약간 들리는 현상을 나타냈으나 차량 전복이나 급정지 등은 발생되지 않았으며 중분대 시설의 관통이나 대향차나 병행하여 주행하는 차량에 큰 영향을 미치는 거동도 일어나지 않아 개선형의 구조적 안정성이 입증되었다.



〈그림 18〉 소형차 증향방향가속도 변화



〈그림 19〉 대형차 롤각 변화

〈표 7〉 개선형 중분대에 대한 소형차 탑승자 충돌속도 (THIV), 탑승자 가속도(PHD)

탑승자 보호성능 평가기준	단위	한계값	측정값
탑승자 충돌속도(THIV)	m/s	9	8.29
탑승자 가속도(PHD)	g	20	8.02

소형차의 충돌에 따른 가속도 변화는 〈그림 18〉과 같이 1차 충돌 후 중, 횡방향 가속도가 24g, 33g로 나타나 최고치를 기록하였고 그 후 2차 충돌시 가속도는 5g, 8g로 측정되었다. 1차 충돌시 가속도는 F형과 비교해 비슷한 값을 나타내었으나 2차 충돌 후 상대적으로 가속도가 낮게 측정되어 〈표 7〉과 같이 환산된 안전도 평가치인 탑승자 충돌속도는 8.29m/s, 탑승자 가속도는 8.02g로 나타나 모두 기준을 만족하고 있는 것으로 평가되었다. 차량의 전복 위험성을 나타내는 대형차의 롤각 변화는 〈그림 19〉에서와 같이 1차 충돌에서는 차량의 전면부 충돌로 차량의 롤각이 크지 않았지만 2차 충돌시에는 차량의 방향이 변화하면서 차량의 후미부가 중분대 시설에 충돌하면서 롤각이 14°를 나타내어 F형 중분대시설과 유사한 값을 보였다.

Ⅳ. 중분대 성능비교 분석

4가지 중분대 시설에 대하여 고속도로 구간 추천 등급인 SB5의 기준에 따라 수행한 컴퓨터 모의충돌 시험 결과를 〈표 8〉과 같이 정리하였다. 차량의 최대 롤각은 대형차 모의충돌시험 결과 측정된 데이터이고

〈표 8〉 중분대 시설 모의충돌시험 결과 비교

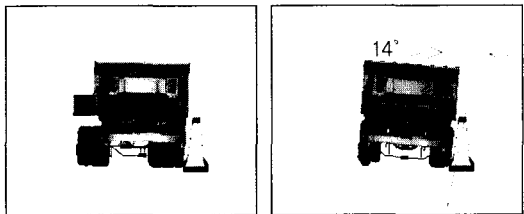
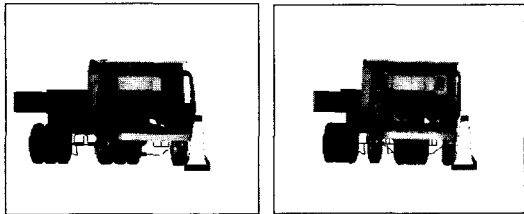
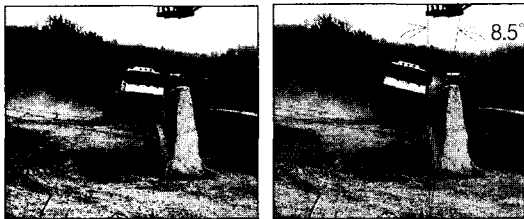
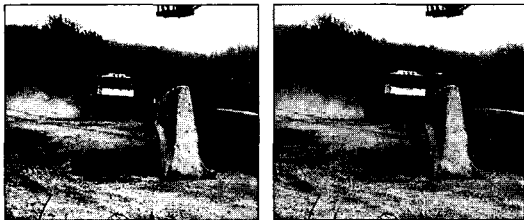
구분	F형	NJ형	단일 경사형	개선형
탑승자 충돌속도 (THIV : m/s)	9.9	10.9	15.5	8.29
탑승자 가속도 (PHD : g)	8.08	8.18	15.07	8.02
차량의 최대 롤각(°)	14	25	5	14

나머지 데이터들은 소형차 모의충돌시험 후 측정된 데이터들이다. 차량이 받는 가속도가 높게 측정되면 탑승자의 가속도 또한 높게 측정되는 비슷한 경향을 나타내지만 꼭 일치하는 것은 아니다. 왜냐하면 차량이 받는 가속도는 차량이 중분대 시설과의 충돌시 발생하는 최대 가속도를 의미하고 탑승자의 가속도는 차량의 중분대 시설 충돌로 인해 탑승자가 차량의 가상 내부공간에 머리가 충돌해 발생하는 최대가속도를 의미하기 때문이다. 결국 탑승자 안전에 대한 간접지표라 할 수 있는 탑승자 충돌속도(THIV)와 탑승자 가속도(PHD)가 낮은 시설이 안전성 면에서 우수한 것으로 평가된다. 개선형 중분대 시설의 경우 THIV가 8.29m/s로 나타나 기준에 적합한 것으로 나타났고 이는 기존의 F형 중분대 시설에 비해 83.7% 정도 낮은 수치로 평가되었다. 또한 PHD의 경우에는 9.02g로 나타나 기준을 만족시켰으며, 이 역시 F형 중분대 시설에 비해 낮게 측정되어 개선형 중분대 시설이 본 연구에서 비교 대상으로 선택한 다른 3가지 중분대 시설에 비해 탑승객의 안전도 측면에서 우월한 것으로 판정되었다. 차량의 전복 가능성을 나타내는 최대 롤각을 비교해보면 단일경사형 중분대 시설은 5°로 나타나 가장 안정적이었고 F형이나 개선형은 약 14° 정도로 나타나 단일경사형보다는 9° 높은 롤각이 측정되었지만 차량 전복을 일으킬 정도의 롤각은 아닌 것으로 판정되었다. 4가지 중분대 시설의 구조적 안정성과 탑승객의 안전성에 대한 모의충돌시험 계속 데이터를 비교 분석한 결과 개선형 중분대 시설이 다른 시설에 비해 상대적으로 우수한 성능을 발휘하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시한 개선형 중분대 시설의 모의충돌시험 결과 검증은 위하여 실물차량 충돌시험 결과와 비교를 하고자 하였으나 현재 기준에 따른 시험결과가 없어 '1997년 건교부 기준에 따라 실시한 중앙

〈표 9〉 중분대시설 충돌시험조건 비교

구분	충돌 속도 (km/h)	차량 중량 (kg)	충돌 각도 (°)	기준충격도 (KJ)
모의충돌시험 충돌조건(현 기준)	80	14,000	15	230
실물차량 충돌시험 충돌조건('97년 기준)	60	14,000	15	130



〈그림 20〉 개선형 중분대 시설에 대한 대형차 충돌시험 비교(상:실물차량 충돌시험, 하:모의시험)

분리대 실물차량 충돌시험중 차량조건이 같은시험의 결과와 비교를 실시하였다. 개선형 중분대 시설에 대하여 수행된 모의충돌시험과 실물차량 충돌시험의 시험조건을 비교해 보면 〈표 9〉와 같다.

〈그림 20〉은 개선형 중분대시설의 구조적 안정성을 검증하기 위한 대형차 모의충돌시험과 실물차량

충돌시험중에 충돌시 차량의 거동을 비교한 것이다. 두 시험에서 충돌 차량이 시설물로부터 과도하게 튕겨나가는 등의 불안정한 거동을 보이지 않고 시설물을 따라 진행함으로써 주변 교통이나 후속 차량 등에 의한 2차 사고의 위험이 적음을 확인할 수 있었다. 충돌시험 도중 시설물 쪽으로 최대의 Roll 각이 발생한 경우를 측정하였는데 모의충돌시험에서는 14도, 실물차량 충돌시험에서는 8.5도로 측정되어 충돌속도가 높은 모의시험에서 높은 Roll 각이 측정되었다. 다른 실물차량 충돌시험에 있어서 동일한 차량의 시험에서 충돌속도가 높을 경우 상대적으로 높은 Roll 각 측정되는 것으로 보아 모의시험결과가 실제여건을 반영하고 있다고 추정할 수 있었다.

V. 결론

중분대 시설의 구조적 안정성 및 탑승객 안전성 평가를 위해 유한요소법을 사용하는 충돌해석 전용 소프트웨어인 PAM-CRASH를 이용하여 모의충돌시험을 수행하였다. 본 연구에서 비교 검토 대상으로 선택한 4가지 중분대 시설에 대해 모의충돌시험을 수행한 후 충돌시험결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하게 되었다.

- 탑승자의 안전도 측면에서는 개선형 중분대 시설과 F형 중분대 시설이 탑승자 충돌속도(THIV), 탑승자 가속도(PHD)의 기준치를 만족하였으며, 계측치는 각각 8.29m/s와 8.02g, 9.9m/s와 8.08g로 나타났다.
- 중분대 시설의 구조적 안정성을 나타내는 물각의 측정에서는 단일경사형 중분대 시설이 5°를 나타내 가장 양호하였으며 F형과 개선형 중분대 시설도 14° 내외를 기록해 차량전복 가능성이 비교적 낮은 것으로 평가되었다.
- 모의충돌시험 결과에 대한 분석을 통해 4가지 중분대 시설 중 개선형 중분대 시설이 가장 우수한 성능을 갖는 것으로 나타났고 다음으로 F형 중분대 시설이 안전성이 높은 것으로 나타났다.

본 연구에서 실시한 컴퓨터 모의 충돌시험은 도로 안전시설을 개발하는데 있어 시간과 비용을 절감하는데 필수적인 과정이다. 그러나 모의시험자체가 갖는

갖가지 가정과 각종 시설의 모델링 기술의 한계로 인해 검토 대상이 되는 도로안전시설을 실용화하기 위해서는 모의충돌시험에 이어 반드시 실물차량에 의한 충돌시험을 거쳐야 할 것이다. 그러나 아직까지 우리나라에서 본격적인 실물차량 충돌시험이 활성화되지 않은 상황에서 안전한 도로안전시설 개발을 위해서는 보다 정밀한 모의시험기법들이 개발되어야 할 것이다. 향후 본 연구에서 검토된 중분대 시설들은 실물차량 충돌시험을 통해 구조적 안정성과 탑승객의 안전성을 검증한 후에 도로현장에 적용하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001), “도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호안전시설편)”.
2. 한국도로공사(2001), “고속도로 건설공사 표준도”.
3. 포항산업과학연구원(1998), “교량 및 도로용 철재

방호시설물 실용화 연구”.

4. 한국도로공사(1998), “고속도로공사 전문시방서(토목편)”.
5. 한국도로공사(1996), “도로설계실무편람(부대공)”.
6. 한국도로공사(1992), “도로설계요령 - 제6권 도로안전 및 부대시설”.
7. 한국도로공사(1997), “충격완화형 철재 중앙분리대 방호울타리의 개발 연구”.
8. 한국도로공사(1998), “교량난간의 구조적 안정성에 관한 연구”.
9. 한국도로공사(2000), “고강도 철재 교량용 방호울타리 개발연구”.
10. H. E. Ross, JR. D. L Sicking, and R. A. Zimmer(1993), “Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features”, NCHRP Report 350, TRB, Washington, D.C.

✉ 주 작 성 자 : 정봉조
 ✉ 논문투고일 : 2002. 10. 29
 논문심사일 : 2002. 12. 26 (1차)
 2003. 1. 28 (2차)
 2003. 2. 10 (3차)
 심사판정일 : 2003. 2. 10
 ✉ 반론접수기한 : 2003. 6. 30

and proposes the use of the fuzzy non-additive controller by the application of AHP(analytic hierarchy process). It is different from classical route search and notices thinking method of human. Appraisal element, weight of route is extracted from basic of the opinion gathering for the driving expert and example of route model was used for the finding of practice utility. Model evaluation was performed attribute membership function making of estimate element, estimate value setting, weight define by the AHP, non additive presentation of weight according to λ -fuzzy measure and Choquet fuzzy integral. Finally, alternative route search was possible to real time traffic route search for the well variable traffic environment, and preference route search showed reflection of traffic route search disposition for the driver individual. This paper has five important meaning.

(1)The approach is similar to the driver's route selection decision process. (2)The approach is able to control of route appraisal criteria for the multiple attribute. (3)The approach makes subjective judgement objective by a non additive. (4)The approach shows dynamic route search for the alternative route search. (5)The approach is able to consider characteristics of individual drivers attributed for the preference route search.

A Comparison of Concrete Median Barriers in terms of Safety Performance using Computer Simulation

CHUNG, Bong Jo · CHANG, Myungsoon

The concrete median barriers are the most popular safety appurtenance 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. Also, 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. However, we have experienced a number of "climb" and "roll-over" accidents of heavy vehicles and most of all, there have been some serious accidents caused by the part of broken glare screens. So the improvement study of concrete median barriers started.

Prior to this study, a new type of concrete median barrier was suggested which is 1,270mm high and has no glare screens on top of it. So it was required to compare the properties of various types of concrete median barriers including the new type to find the optimal type of concrete median barrier.

In this study, we have evaluated the characteristics of four types of concrete median barriers (New Jersey type, F type, constant slope type, and wall type). We have performed many computer simulations for the evaluation of the crashworthiness of them, and through the simulations we have tried to find a proper type of concrete median barrier.

Through the computer simulations, we evaluated the structural stability and safety of the four types of concrete median barriers. We confirmed the structural stability and safety of them But in regard to the probability of "roll-over" of heavy vehicles, the higher concrete median barriers showed better performances than the lower.

As the result of this study, a new type of concrete median barrier was recommended.

Development of Highway Safety Evaluation Considering Design Consistency using Acceleration

HA, Tae Jun · PARK, Je Jin · KIM, Yu Chul

Road safety is defined under the minimum design standard and design examination process is consisted of the standard according to current road design. However, road safety in practical way is