

고속도로에서 공용중인 노측용 차량방호울타리의 성능분석 및 개선방안에 관한 연구

Study on Improvement Method and Performance Analysis About Occupied Existing Roadside Barriers in Expressway

<p>주 재 응 Joo, Jae-Woong 장 대 영 Jang, Dae-Young 하 중 문 Ha, Jong-Moon 박 제 진 Park, Je-Jin</p>	<p>정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 선임연구원 · 교신저자 (E-mail : jjw123@ex.co.kr) 정회원 · 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 박사과정 (E-mail : dmyoung@daum.net) 보성건설(주) 대표이사 (E-mail : bubiha@paran.com) 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실 책임연구원 (E-mail : jjpark@ex.co.kr)</p>
--	--

ABSTRACT

It is possible to set up the Roadside Barrier which is suitable for Performance Evaluation Criteria by domestic standard. But a number of section of expressway roadside have old guardrail that was installed before reform the guideline. These poor performance guardrails threaten driver's life. There is lots of difficult problem to change old guardrails that are installed 2,777km in expressway of whole road side at the same time. Especially budget problem. The purpose of study is to develop performance improvement guardrails by the minimum reinforcement. In this study, guardrail improvement method(SB1, 3, 5 grade) is developed through crash simulation using LS-DYNA 3D and vehicle crash test. And it's expected not only to decrease of collision accident but to increase safe level. Of course one thing that can't be missing is to reduce a lot of budget of guardrail change.

KEYWORDS

roadside barrier, performance evaluation criteria, simulation, crash test performance analysis

요지

국내 지침에 의하면 성능기준에 적합한 노측용 방호울타리만이 도로 현장에 설치될 수 있다. 그러나 공용중인 고속도로 노측의 상당 구간에는 지침 개정 이전에 설치된 성능이 미흡한 기존 구형 가드레일이 설치되어 있어서 고속도로 운전자의 안전을 위협하고 있다. 구형 가드레일은 전국의 고속도로에 약 2,777km가 설치되어 있으며 일률적으로 동시에 모든 구간의 가드레일을 교체하기란 예산상 어려움이 많아 최소한의 보강을 통해 국내 지침에 만족스럽게 보강개선된 가드레일을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구에서는 LS-DYNA 3D를 이용한 충돌시물레이션과 실물차량 충돌시험을 통해 철재 노측용 가드레일 보강방안(SB1, 3, 5등급)을 개발하였고 개발된 가드레일 보강개선방안은 차량의 충돌 및 이탈사고의 심각성을 감소시켜 도로의 안전도를 개선, 향상시킬뿐만 아니라 많은 예산절감을 기대할 수 있다.

핵심용어

노측용 방호울타리, 성능평가기준, 모의충돌시험, 실차 충돌시험, 성능분석

1. 서론

2001년 이전 『도로안전시설 설치 및 관리지침』은 일본의 방호책 설치요령을 준용하여 지침을 수립하였으

나, 2001년 이후 지침은 유럽, 미국, 일본 등 세계적인 차량방호울타리 성능평가 추세에 따라 실물차량 충돌시험 기준을 포함하게 되었다. 이 지침에 따라 성능시험에

의해 검증된 차량방호울타리만을 도로 현장에 설치할 수 있었다.

그러나 현재까지 고속도로에 설치된 노측용 가드레일 중에서 현재의 국내지침이 개정되기 이전에 설치된 가드레일(이하 구형 가드레일로 칭함)은 총 연장 2,777km의 고속도로에 설치되어 있는 실정이며, 이를 철거하고 성능이 검증된 제품으로 재설치할 경우 소요되는 비용이 약 4,000억원 가량 소요될 것으로 조사됨에 따라 국가적인 큰 부담으로 작용하고 있다.

우리나라와 가드레일 형태 및 설치조건 등이 유사한 일본의 사례를 일본대사관을 통하여 조사한 결과, 구형 가드레일에 대한 활용 보강 방안은 없었으며, 신칸센 등 중요시설이나 위험도가 높은 구간부터 순차적으로 철거 후 재설치하고 있었다.

구형 가드레일 철거시 고철의 고재처리에 따른 국가 자원의 손실 및 신규 가드레일 제작에 따른 이산화탄소 발생 등 국가적인 낭비요소가 높아 이에 대한 대책이 시급한 실정이다. 아울러 2010년 7월 인천대교 버스참사 사고로 인해 구형 가드레일 보완요구가 높아져 신속한 보완을 위한 사업비 절감 및 시공의 용이성이 좋은 개선된 가드레일 개발이 요구되고 있다.

운전자 과실 및 가드레일의 성능결함으로 년평균 고속도로 가드레일 추락사고가 29건 발생하고 있어, 본 논문에서는 현 지침 이전에 고속도로에 설치되어 사용 중인 구형 가드레일에 대해 성능평가 후 분석을 실시하였고 이에 대한 성능향상 방안을 개발하였다. 또한 향후 전면교체가 아닌 성능 개선된 가드레일 적용 방안에 대해 검토 분석하였다.

2. 기존 연구 및 문헌고찰

2001년 국내 차량방호울타리 성능평가기준이 제정된 이후 관련 업체들의 노력에 힘입어 국내 차량방호울타리의 성능향상을 위한 개선, 개발연구는 비약적인 발전을 이루었다. 그러나 개발에 기본이 되는 차량방호울타리 기초연구 및 성능평가기준 관련 연구는 매우 부진한 상태에 머물러 있고 차량방호울타리 관련 연구는 토목, 교통 분야에서 크게 주목받지 못해 국내에서 이 분야의 전문가는 손으로 꼽을 정도로 찾기 힘든 실정이다. 이런 현실에도 불구하고 차량방호울타리는 도로 이용객의 안전을 지키는 가장 큰 버팀목을 부인할 수는 없을 것이다.

국내 차량방호울타리 지침은 1980년에 일본의 지침

을 그대로 가져오다시피 하여 “방호책 설치요령”을 제정하였고, 1997년 “도로안전시설 설치 및 관리지침-방호울타리 편”을 제정하였으며, 2001년에 실물차량 충돌시험에 관한 성능평가 기준을 추가함으로써 현재까지 큰 개정 없이 사용 중에 있다.

국내 차량방호안전시설에 대한 성능평가기준을 제시하였을 뿐만 아니라 일반사항과 구조 및 형식을 소개한 2001년 도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호 안전시설 편, 국토해양부)은 국내 차량방호울타리의 성능 향상에 기초가 되었고 향후 세계적인 수준의 차량방호안전시설 개발에 크게 기여할 것이다.

일본의 차량방호울타리 지침은 1972년 “방호책 설치요강”을 시작으로 최근에는 2008년 “방호책 설치기준·동해설”을 개정하여 사용하고 있다.

유럽의 경우 1998년 이전에는 유럽 각국이 독자적인 기준을 사용하였으나 1998년에 유럽연합의 통합기준(EN 1317)을 사용하고 있으며 현재까지 부분적인 개정이 수차례 있었으나 큰 변화 없이 사용하고 있다.

미국의 경우 1981년 “NCHRP Report 230”과 1993년 “NCHRP Report 350, TRB”을 최근까지 사용하다가 2009년에 “Manual for Assessing Safety Hardware(MASH), AASHTO”로 개정하여 많은 부분이 수정되었다.

수정된 내용은 방호울타리의 충돌시험기준에서 소형 차량의 무게를 0.7ton과 0.82ton의 무게를 통합하여 1.1ton으로 간소화되었고 픽업트럭은 자국의 실정에 맞도록 2.27ton으로 개정하였으며 또한 소형차량의 충돌 각도는 20°에서 25° 상향하였다.

성능평가기준에서 기존 평가항목 보완을 통해 중복되는 평가항목을 흡수함으로써 평가항목을 간소화하였고 충돌 후 차량의 부위별 변형기준을 제시하여 탑승자의 안전성능을 확보하였다.

미국에 일반적으로 설치되고 있는 차량방호 안전시설물에 대한 전반적인 사항을 정리 수록하고 있는 “Roadside Design Guide”(AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002)는 도로관리자가 적용하고자 하는 구간에 적합한 시설을 선택할 수 있도록 각 차량방호 안전시설물에 대한 성능평가 내용과 구조적인 특성을 기록하고 있다. 미국의 성능지침을 보조하면서 성능지침에서 자세하게 다룰 수 없는 내용들을 수록함으로써 도로관리자의 필수 참고문헌이라고 말할 수 있다.

3. 신·구 방호울타리 설계기준 비교

국내 도로안전시설 설치 및 관리지침(국토해양부)에서 노측용 일반도로구간 설계기준은 2001년 이전에는 가드레일의 제원(설치높이, 규격 등)에 대하여 규정하고 있었으나 2001년 이후 개정된 내용은 가드레일의 제원에 대한 규정은 삭제되고 충돌시험 성능평가기준이 신설되었다. 이에 따라, 기존에 설치되어 사용중인 노측용 가드레일에 대해 현 지침의 성능평가기준에 적합하도록 보강 및 개선을 해야 하는 상황에 이르렀다.

현 지침 이전에는 국가에서 제시하고 있는 제원에 따라 설치했으므로 설치되고 있는 가드레일의 안전성에 대해서는 무관심했던 것이 사실이다. 또한 국내에서 빈번히 발생하는 차량과 가드레일의 충돌사고로 인해, 구형 가드레일에 대한 안전성이 의문 시 되어 국내에서도 방호울타리에 대한 성능평가시험을 도입하게 되었다. 따라서 현 지침에 의하면 도로에 설치되는 차량방호울타리는 규격과 형식의 제한이 없어 성능기준에만 만족하면 도로 현장에 설치가 가능하게 되었다.

표 1은 2001년을 기준으로 국내 신규 방호울타리의 설계기준을 비교하여 정리한 것이다.

4. 기존 공용중인 가드레일 성능분석

4.1. 공용중인 가드레일 성능평가

고속도로에 2001년 이전 기준에 의거하여 설치된 구형 가드레일의 형식은 대표적으로 두 가지가 있다. 하나는 W형 빔 가드레일에 원형지주(지주간격 4m, 지름 139.8mm)가 사용된 것이고 나머지 하나는 W형 빔 레일에 H형 블록아웃과 H형지주(지주간격 2m)가 적용된 것이다. 기존의 구형 가드레일의 경우 성능시험 없이 설치되었으므로 가드레일의 성능을 검증해 보아야만 했다. 국내지침에서는 고속도로에 적용되는 기본등급으로 SB3등급을 규정하고 있어서 이에 맞는 충돌시험 조건으로 충돌시험을 실시하였다.

국내 방호울타리 성능평가기준은 도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호 안전시설 편)에 명시되어 있고 이 지침의 성능평가항목은 탑승자 보호성능, 구조성능, 충돌 후 차량의 거동으로 크게 구분되며 그 안에서 세부적인 사항으로 나뉜다. 탑승자 보호성능의 평가 기준으로는 탑승자 충돌속도(THIV)와 탑승자 가속도(PHD)를 평가기준으로 하며, THIV의 경우 33km/h 이하, PHD의 경우 20g 이하로 규정하고 있다. 지침에서 제시한 각 등

표 1. 신·구 방호울타리 설계기준 비교

구 분	2001년 이전(일본 방호책 설치요령에서 발취)							2001년 이후(현 지침)				
	충격도 (kJ)	가드레일		지 주		가드레일 중심높이 (cm)	최대지주 간격(m)	등급	충격도 (kJ)	충격도 산출조건		
		폭 (mm)	두께 (mm)	바깥 지름 (mm)	매입 깊이 (cm)					차량 무게 (ton)	충돌 속도 (km/시)	충돌 각도 (°)
C(시가지도로)	45	350	2.3	114.3	140	60	4.0	SB1	60	8	55	15
B(국 도)	60	350	3.2	114.3	150	60	4.0	SB2	90	8	65	
A(고속도로)	130	350	4.0	139.8	165	60	4.0	SB3	130	8	80	
S(철도교차지점 등)	230	350 350	4.0 2.3	139.8	165	80 40	2.0	SB4	160	14	65	
								SB5	230	14	80	
								SB6	420	25	80	
								SB7	600	36	80	

표 2. 등급별 충돌시험 조건 및 성능평가기준

등 급	충돌 속도 (km/시)	차량 중량 (kg)	충돌 각도 (°)	성능평가기준	
SB1	60	1,300	20	강도성능	최대 변형 1.1m 이하
	55	8,000	15		탑승자 보호 성능
SB3	100	1,300	20	충돌 후 차량 거동 (소형, 대형)	
	80	8,000	15		차량의 전도 등이 없을 것
SB5	100	1,300	20		이탈속도는 충돌속도의 60% 이상
	80	14,000	15		이탈각도는 충돌각도의 60% 이하

급별 충돌시험 조건 및 성능평가기준은 표 2와 같다.

지주간격 4m의 원형지주를 사용한 W형 빔 가드레일에 대한 성능시험 결과는 대형충돌차량의 승월 및 관통으로 인해 가드레일의 강도성능이 현 기준을 만족시키지 못한 것으로 나타났다.

H형지주(100×100×8×6)를 2m 간격으로 타입하고 지주에 350mm 길이의 H형지주 형태의 블록아웃을 설치한 후, W형 빔 레일을 체결하여 사용한 구형 가드레일에 대한 대형차량 충돌시험 결과, 차량의 거동은 차량이 방호울타리에 충돌하여 전복되거나 급정지하지 않고 원활히 유도되었으나, 충돌 과정에서 다소 큰 차량의 Rolling과 Pitching이 계측되었다. 충돌차량의 이탈속도는 49.45km/hr(충돌속도의 60.76%)였으며 이탈각도는 7.39°(충돌각도의 49.27%)로 모두 평가기준에 만족한 결과를 보였다. 가드레일의 강도성능을 나타내는 방호울타리의 충돌 최대 변형거리는 19번 지주와 20번 지주의 사이에서 74.3cm의 최대변형거리를 보였다. 지주는 총 13본이 파손되었으며, 레일도 7장이 파손되었다. 레일 일부가 찢기거나 끊어지지 않았으나 5개의 지주가 레일에서 이탈하였다. 시험체는 차량을 관통하거나 탑승자에게는 위험요소를 제공하지는 않았으며, 제3자나 후속차량에 대한 위험요소를 제공하지 않았다.

탑승자 보호성능을 평가하는 소형차량 충돌시험 결과 탑승자 충돌속도(THIV:차량이 시설물과 충돌하여 운전자의 머리가 차량 내부공간의 가상면에 부딪칠 때까지 이동하는 속도)는 0.1289sec에서 24.84km/hr의 값을 보였으며 탑승자 가속도(PHD: 탑승자가 차량 내부공간의 가상 면에 부딪칠 때 머리가 받게 되는 가속도 중에서 최대값)는 0.2038sec에서 31.6g의 값을 보였다.

PHD값은 국내 기준값인 한계값 20g를 벗어나는 값으로 나타났다. 가드레일의 구성요소가 탈락되어 차량 컴파트먼트를 뚫고 들어가지 않았으며, 구성부재가 도로상이나 도로밖으로 비산하여 탑승자나 제 3자에게 피해를 주는 어떠한 요소도 발견되지 않았으나 결과적으로 일반 가드레일 충돌시험 결과 소형차의 탑승자 보호 성능에서 기준에 만족하지 못한 결과를 보였다.



그림 1. 소형차량 충돌시험 거동



그림 2. 대형차량 충돌시험 거동



그림 3. 충돌시험 전후 가드레일 상태

4.2. 신·구형 가드레일 형식 비교

성능이 미흡한 구형 가드레일을 대신할 신형 노측용 가드레일은 2006년에 개발되었다. 국내 최초로 개발된 SB3등급 차량방호울타리로 Thrie beam형 레일과 지주보강재가 추가된 원형지주(지주간격 2m) 및 충격흡수재인 V자형 블록아웃 구조를 갖추었다. 고속도로 기본등급인 SB3등급뿐만 아니라 고속도로 나들목에 사용되는 저속구간용 SB1등급, 고성토구간인 절대위험지역에 적용되는 SB5등급 방호울타리도 차레로 개발되어 신설 고속도로에 설치되고 있다. 그림 4는 SB3등급 신·구형 가드레일의 규격, 형식, 설치도를 나타낸 것이다.

구분	구기준	현행기준
규격	가드레일(W형 beam), 지주간격(4m), 일반지주	가드레일(3W), 지주간격(2m), 지주보강
형식	일반보형	블록아웃형
설치도		

그림 4. 신규 가드레일 규격, 형식, 설치 비교

앞절의 구형 노측용 가드레일(원형지주 간격 4m) 성능시험 결과, 고속도로 설치 등급인 SB3등급의 충돌조건을 만족시키지 못하는 것으로 충돌시험 결과 판명되었다.

과거 고속도로 현장에서 사용되어 왔던 구형 가드레

일은 구조적 안정성과 탑승자의 안전성에 문제점이 도출되었지만 새로 개발된 신형 가드레일로 전면교체를 하지 못하고 있다. 하루빨리 교체작업이 필요한 실정이지만 신규 가드레일 교체시 수천억원의 교체비용이 발생하기 때문이다. 본 논문에서는 구형 가드레일을 최대한 이용해 보강한 개선방안 가드레일을 개발하여 사업비를 절감하고자 하였다.

5. 공용중인 구형가드레일 개선방안 제시

구형 가드레일 성능상의 문제점인 충돌차량의 지주걸림현상(Snagging)방지를 위하여 일반빔형 가드레일에 서 블록아웃형 구조로 형식을 변경하고 기존 지주에 보강재를 추가 설치함으로써 강도성능 및 탑승자 보호성능의 향상을 도모하는 방안을 수립하였다.

구형 가드레일을 충분히 이용하기 위해 기존 W형 빔레일과 원형지주를 그대로 사용하였다. SB1등급의 경우 기존 형태에 블록아웃 충격흡수재를 추가하였고 특히 SB3등급의 경우 기존 가드레일과 동일한 지주간격 4m를 고수하기 위해 지주간격 사이 중간인 2m마다 블록아웃을 추가 설치하였고 구조적인 강도보강을 위해 지주 후면에 사각보를 추가 설치하였다.

SB5등급 고성토부 가드레일 보강방안은 W형 빔 2단 가드레일에 상하로 블록아웃 간격재로 보강하여 탑승자의 안전도를 향상시켰다. 그림 5는 구형 가드레일과 보강 개선방안 가드레일의 형태를 비교해 나타내었다.

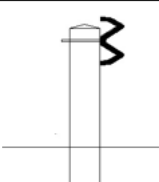
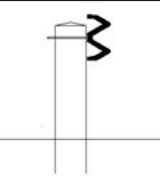
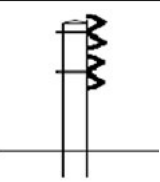
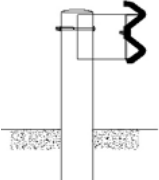
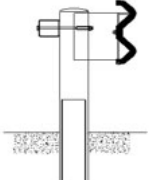
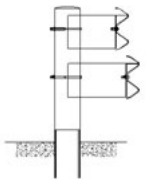
구 분	SB1(나들목)	SB3(본선)	SB5(고성토부)
기 존 (일반 보형)			
보 강 (블록 아웃형)			
보강내용	블록아웃	블록아웃, 지주보강재	블록아웃, 지주보강재

그림 5. 기존 구형 가드레일 보강방안

6. 개선방안 검증 및 분석

6.1. 충돌시뮬레이션과 실물차량 충돌시험 결과 비교 및 검증

본 논문의 충돌시뮬레이션에 사용된 프로그램은 LS-DYNA 3D로 다양한 충돌하중에 대한 해석을 위해 LLNL(Lawrence Livermore National Laboratory)에서 John O. Hallquist박사에 의해 최초로 개발되기 시작하여, 충돌차량과 방호울타리와의 다양한 충돌시뮬레이션이 실시되어 높은 신뢰도를 보여주고 있다.

LS-DYNA는 방호울타리와 차량의 부재를 모델링할 수 있는 다양한 요소들을 갖추고 있으며, 이 요소들의 특성은 부재의 복잡한 비탄성 및 비선형 거동을 정의할 수 있다.

또한 차량과 방호울타리를 3차원으로 모델링할 수 있기 때문에 방호울타리의 거동을 면밀하게 조사할 수 있고 차량의 움직임을 세밀히 검토할 수 있어 방호울타리의 평가 및 주요 부재의 성능 검토에도 활용되고 있다.

기존 노측용 가드레일을 개선 보강한 SB1, SB3, SB5 등급 가드레일에 대해 현지침의 충돌조건에 따라 충돌시뮬레이션을 수행하였고 개선방안 충돌시뮬레이션에는 그림 6, 7의 NCAC(National Crash Analysis Center at George Washington University)에서 개발한 Ford Taurus 차량의 Reduce 모델(NCAC, 2000)과 Ford Single Unit Truck 모델을 사용하였다.

차량방호울타리의 빔, 지주 및 블록아웃 부재는 Shell 요소를 사용하여 모델링 하였으며, 강재는 SS400의 재료적 특성을 고려하였다. 부재의 연결은 Beam 요소를 사용하여 볼트연결을 구성하였고 지반 모델은 Spring Element로, 부재 상호간의 힘의 전달을 위해 인접한 부재사이의 접촉면에 Contact 옵션을 사용하여 충돌로 인한 힘의 전달을 고려하였다. 가드레일은 승용차와 트럭에 대하여 15경간(30m)을 모델링하였으며, 양끝 단부는 가드레일의 설치길이가 충분하다고 가정하여 변위를 구속하였다

공용중인 고속도로의 구형 노측용 가드레일은 성능 부적합으로 검증되어 도로 이용객의 안전을 위협하는 차량방호울타리로 판명됨으로써 이를 개선하고자 구조 검토 및 충돌 시뮬레이션을 통해 보강개선된 가드레일의 최종안을 확정하였다.

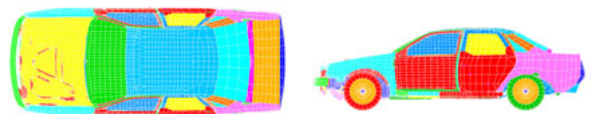


그림 6. 승용차 모델(Ford Taurus)

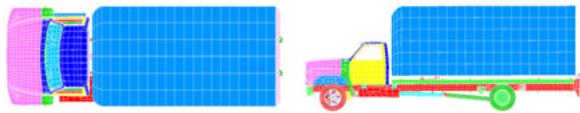


그림 7. 트럭 모델(Ford Single Unit Truck)



그림 8. 승용차 충돌 시뮬레이션 Full Model

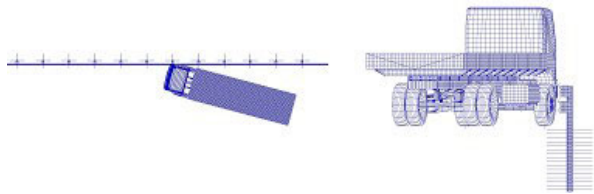


그림 9. 대형트럭 충돌 시뮬레이션 Full Model

그리고 최종 검증단계인 실물차량 충돌시험을 통해 보강방안의 성능을 평가하였다. 충돌시뮬레이션의 성능 평가 결과와 실물차량 충돌시험 결과를 표 3에 비교 정리했다.

모두 만족스러운 결과를 보여주었으며 시뮬레이션의 결과가 실차 충돌시험 결과와 유사하게 측정되어 시뮬레이션의 신뢰성이 입증되었고 개선방안인 노측 가드레일의 성능은 실차 충돌시험을 통해 최종 검증되었다.

비교 결과, 차량의 거동 또한 아주 흡사한 거동을 보였으며 동적 최대변위도 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 탑승자보호지수 계산 결과도 큰 차이를 보이지 않았으므로 충돌시뮬레이션은 초기 설계 단계에서 가드레일의 전반적인 에너지소산 거동을 예측하고 설계초안을 작성하기에는 충분하였다.

본 논문에서는 SB1, SB3, SB5등급 모두의 개선방안에 대한 시뮬레이션과 실물차량 충돌시험을 수행하였으나 본 논문의 지면관계상 SB5 등급에 대한 시뮬레이션 거동과 실차 시험에 대한 충돌거동을 그림에 나타내었다. 그림 10, 11, 12 13은 SB5등급 개선방안 가드레일에 대한 충돌시뮬레이션 및 실차 충돌시험 시 시간대별 소형, 대형차량 거동과 가드레일의 변형양상을 나타내고 있다.

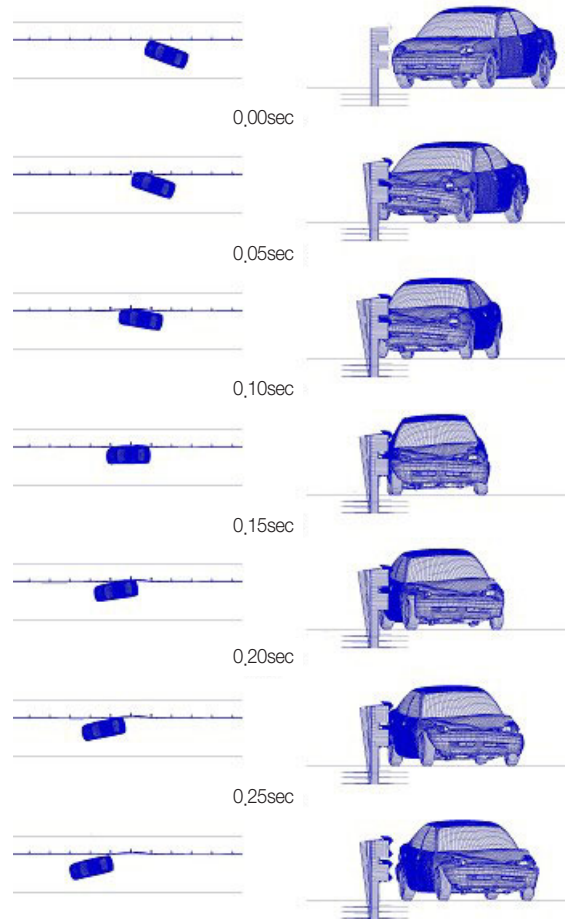


그림 10. SB5등급 소형차량의 거동(시뮬레이션)

표 3. 충돌 시뮬레이션 결과와 실차 충돌시험 결과 비교

항 목	성능평가기준	시뮬레이션 결과			충돌시험 결과			판정
		SB1	SB3	SB5	SB1	SB3	SB5	
탑승자 보호 성능	THIV 33km/hr 이하	17.7	29.6	32.9	16.6	24.1	28.5	Pass
	PHD 20g 이하	5.9	12.0	14.9	3.7	13.2	19.2	Pass
강도성능	최대 변형 1.1m 이하	0.66	0.76	0.74	0.96	0.67	0.62	Pass
충돌 후 차량 거동 (소형, 대형)	차량의 전도등이 없을 것	없음	없음	없음	없음	없음	없음	Pass
	이탈속도는 충돌속도의 60% 이상	89.3	89.6	83.1	78.9	79.6	68.5	Pass
		83.3	72.9	86.3	70.0	73.4	77.5	
이탈각도는 충돌각도의 60% 이하	44.5	56.5	55.0	39.1	54.8	42.0	Pass	
	58.0	54	24	42.9	0	34.4		

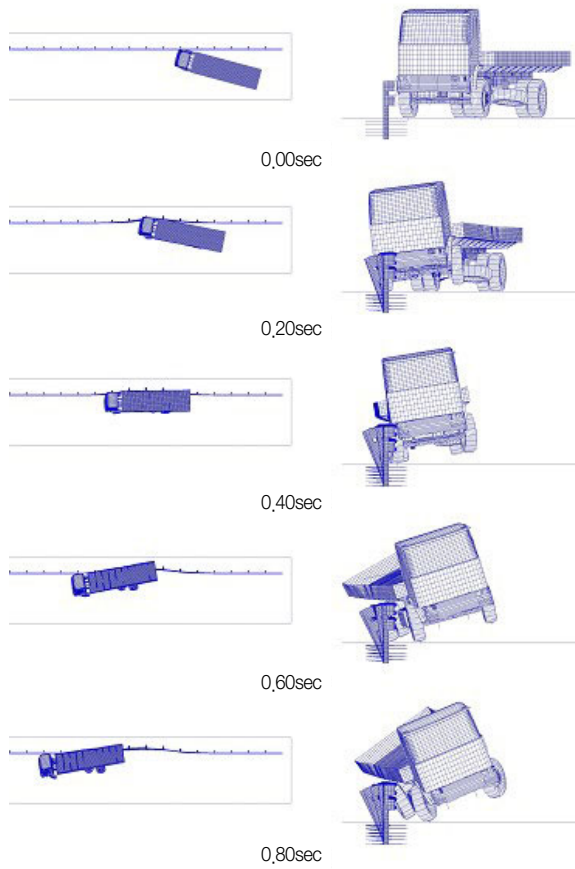
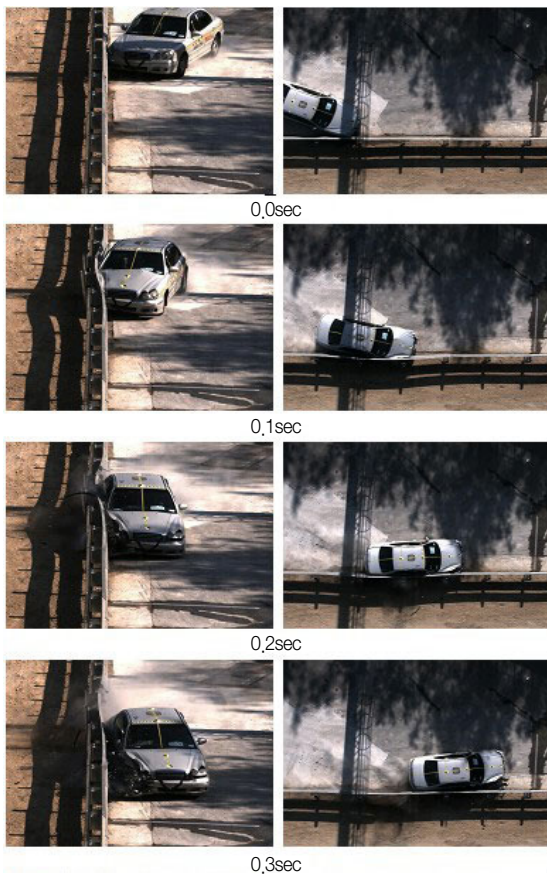


그림 11. SB5등급 대형차량의 거동(시뮬레이션)



(그림 계속)



그림 12. SB5등급 소형차량의 거동(실차시험)



그림 13. SB5등급 대형차량의 거동(실차시험)

SB5등급 개선안에 대한 충돌시뮬레이션과 실차 충돌 시험의 충돌차량 거동을 비교한 결과 유사한 거동을 보였고 차량과 가드레일의 접촉시간 및 통과시간은 마찰력이 작은 시뮬레이션 상에서 좀 더 빠른 것으로 나타났다.

그럼에도 불구하고 충돌시뮬레이션과 실차 충돌시험의 차량의 탑승자가 받는 충돌속도(THIV) 및 충돌가속도(PHD)가 비슷한 값으로 계측된 것은 충돌시뮬레이션의 모델링이 잘 이루어져 신뢰성이 있는 시뮬레이션이

수행되었다는 것을 의미하는 것이다.

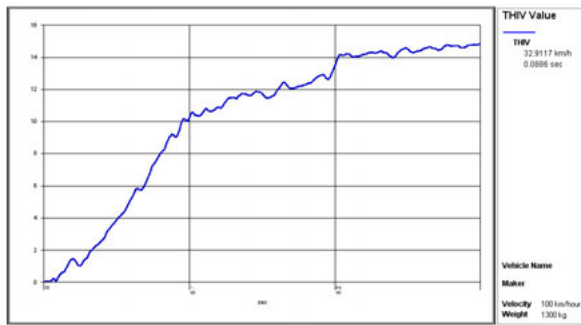


그림 14. SB5등급 충돌시물레이션 THIV

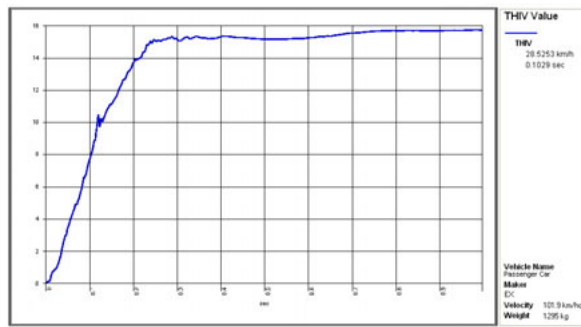


그림 15. SB5등급 실차 충돌시험 THIV

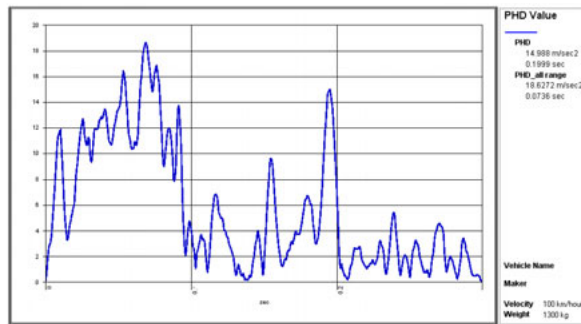


그림 16. SB5등급 충돌시물레이션 PHD

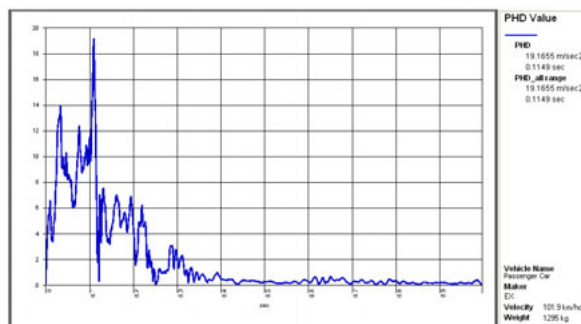


그림 17. SB5등급 실차 충돌시험 PHD

본 논문에서는 구형 가드레일의 성능을 개선한 SB1, 3, 5등급에 대해 충돌시물레이션을 통해 최적의 도면을 도출하였고 충돌시험을 수행하여 검증하였다. 검증결과

모든 개선안이 국내 지침에 만족스러운 결과를 보였다.



그림 18. SB5등급 대형차 충돌시험 전후 비교

그림 18은 SB5등급 개선방안 가드레일에 대한 대형 차량 충돌시험 전·후 가드레일의 변형 상태를 나타내는 그림이다. 대형차량 충돌에 지주가 변형되면서 차량의 충격력을 흡수했지만 차량 전복이나 전도는 발생되지 않았다.

6.2. 향후 적용방안 분석

고속도로의 노측용 가드레일이 처음 사용된 시기는 정확하게 알 수는 없지만 1970년대로 알려져 있다. 이때부터 사용되기 시작한 W형 빔 가드레일(원형지주, 간격 4m)은 30년동안 고속도로와 국도에 표준형 가드레일로 적용되었다. 도로의 교통량 및 통행량이 거의 없는 초창기 국내 도로환경에서는 W형 빔 가드레일이 어느 정도 적합했으나 기하급수적으로 늘어나는 차량과 교통량 그리고 고속화, 대형화됨에 따라 꾸준히 늘어나는 노측용 가드레일에 대한 교통사고 등으로 인해 구형 가드레일의 성능향상은 당면의 과제로 등장하게 되었다.

국내 도로의 노측에 설치된 구형 가드레일 대부분은 현 국내 지침에 무관하게 설치되어 있을 뿐만 아니라 예산부족으로 인하여 유지관리도 안되고 방치되어 있는 실정이다.

2001년부터 가드레일에 대한 실물차량 충돌시험이 의무화되어 구기준에 의거하여 설치된 구형 가드레일의 성능개선방안을 본 연구에서 개발하였고 이 개선방안은 국내 최초 가드레일 보강공법으로 가드레일 전면교체가 아닌 기존 가드레일을 사용하면서 보강하는 저비용, 고효율 성능향상 방안이다.

이 저비용 고효율 성능개선 방안은 기존 가드레일, 지주를 재활용함으로써 새로운 타입으로 가드레일을 전면 교체 시 드는 비용의 약 30% 정도(부재별 단가 산출을 근거로 계산한 결과) 소요된다. 먼저 개선방안은 고속도로 위험도가 큰 구간을 선정하여 우선 추진될 예정이고 이후 가장 연장이 긴 본선구간의 기존 가드레일을 개선할 것이다.

7. 결론

현재 공용중인 고속도로의 구형 노측용 가드레일은 국내 차량방호울타리 성능기준에 미흡한 채로 설치되어 도로 이용자의 안전을 위협함으로 국내 성능기준에 만족한 보강, 개선된 SB1, 3, 5등급 가드레일을 개발하였다.

충돌시물레이션을 통해 도면을 완성했고 최종 검증단계인 실물차량 충돌시험 결과, 탑승자보호성능, 구조성능, 충돌 후 차량의 거동성능 등이 우수한 것으로 나타났다. 개발된 보강 개선방안 가드레일은 구형 노측용 가드레일을 그대로 사용하면서 최소한의 부재 보강을 통해 개발함으로써 전면 교체보다 많은 예산절감을 할 수 있는 것으로 조사되었다. 기존의 구형 가드레일은 검증된 안전한 차량방호울타리로 보강됨으로써 고속도로를 이용하는 운전자의 안전성이 제고될 것이고 차량 충돌로 인한 교통사고의 치명도 및 재산피해가 감소할 것으로 예상된다.

참고 문헌

- 건설교통부(2001), *도로안전시설 설치 및 관리지침-차량방호 안전시설 편*.
- 동일본고속도로(2008) “방호책 설계요령(제5집 교통안전시설편)”
- AASHTO(2009), “*Manual for Assessing Safety Hardware(MASH)*”
- 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*, Transportation Research Board, Washington, D. C.
- European Standard EN 1317-3(2010), “*Road Restraint Systems-Part 3*”, Status of a British Standard, BSI.

접 수 일 : 2011. 6. 30

심 사 일 : 2011. 6. 30

심사완료일 : 2011. 10. 12