



노측 가드레일용 단부처리시설 성능평가기준 정립 및 개발

A Study on Development & Establishment of Performance Evaluation Criteria for Guardrail End Treatments

주 재 웅* 금 기 정** 박 제 진*** 장 대 영****
 Joo, Jae Woong Kum, Ki Jung Park, Je Jin Jang, Dae Young

Abstract

Since the end treatments of guardrails installed on domestic roads have the shapes which can easily penetrate and turnover a vehicle, the occupant can be subjected to severe injury when a vehicle impacts the end treatments. In this study, the criteria of performance evaluation for end treatments are suggested which are suitable to domestic road circumstances. Based on the investigation for the installation and studies instances of end treatments, the mechanism of end treatments is examined and the new end treatment suitable to domestic road circumstances is suggested. The suggested end treatment was verified by computer simulation using d LS-DYNA programs and satisfied the suggested performance evaluation criteria for end treatments. And the developed end treatment was verified by full-scale vehicle crash test and satisfied the following three primary appraisal factors of the suggested performance evaluation criteria for end treatments; occupant risk criteria, structural adequacy, and after-collision vehicle trajectory. This study is the first to develop end treatments considering the occupant safety in Korea. Therefore, If the developed end treatments is installed on roads and highways, it can be expected that it will reduce the grave situation of end treatment accidents and increase the safety of roads.

Keywords : end treatment, performance evaluation criteria, occupant risk criteria, vehicle crash test

요 지

국내에 설치되고 있는 가드레일의 단부처리시설(end treatments)은 차량의 관통이나 전복을 유발할 수 있는 형상을 하고 있어 사고 시 탑승자가 치명상을 입을 가능성이 매우 높다. 실제로 차량이 가드레일의 단부에 충돌하였을 경우, 가드레일이 차량내부를 관통하여 탑승자에게 직접적인 상해를 입히는 경우가 발생되고 있다. 본 연구에서는 미국과 유럽의 성능평가기준(performance evaluation criteria)에 근거하여 국내 실정에 적합한 단부처리시설에 관한 성능평가기준(안)을 제시하였다. 또한 외국의 설치사례 및 연구사례를 조사하여 단부처리시설의 mechanism을 파악하고 국내 도로환경에 적합한 단부처리시설을 제안하였다. LS-DYNA 프로그램을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 단부처리시설에 대한 성능을 검증한 결과 성능평가기준(안)에 모두 만족한 결과를 보였으며, 개발 단부처리시설에 대한 실험차량 충돌시험을 수행한 결과 성능평가기준(안)의 탑승자 보호성능, 단부처리시설의 거동, 충돌후 차량의 거동을 모두 만족하였다. 국내 최초로 탑승자의 안전을 고려하여 개발된 단부처리시설이 고속도로나 국도에 설치된다면 단부충돌사고의 심각성을 감소시켜 도로의 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 단부처리시설, 성능평가기준, 탑승자의 안전도, 충돌시험

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 전임연구원
 ** 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수
 *** 정회원 · 교신저자 · 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실 책임연구원
 **** 비회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로시험팀 연구원



1. 서론

교통사고를 예방할 수 있는 대안으로는 도로자체의 개량과 운전자에 대한 교육 등이 필수적이지만 또한가지 빠뜨릴 수 없는 것이 차량방호 안전시설물에 대한 고려이다. 현재 국내의 도로망은 선진국 수준의 인프라를 구축했음에도 불구하고 차량방호 안전시설에 대한 고려는 아직 미흡한 실정이다.

미국의 통계자료에 의하면 도로변에 설치되는 시설물(가로수, 전신주, 방호울타리 등)에 차량의 충돌로 인해 발생하는 사망사고 중 가드레일에 충돌하여 사망하는 사고가 10%에 해당된다고 보고되었으며, 국내 조사자료에 의하면 일정구간에 대한 차량방호 울타리의 중앙분리대사고를 분석한 결과 측면충돌사고가 75%, 단부충돌사고가 25%의 비율로 조사되었다.

사고비율로 보자면 단부충돌사고가 차지하는 비율이 적다고 생각할 수 있으나 전체 설치 길이에 대한 비율로 보면 결코 적은 양은 아니며, 무엇보다도 단부충돌사고에 대한 사고피해의 규모가 심각한 상황이다.

방호울타리의 설치목적은 탑승자의 안전을 확보하고자 하는 것이다. 하지만 국내에 설치되고 있는 가드레일의 단부는 차량을 관통할 수 있는 형상을 하고 있어 사고의 치명도는 매우 심각하다. 실제로 차량이 가드레일의 단부에 충돌하였을 경우 레일이 차량내부로 관통되어 탑승자에게 직접적인 상해를 입히는 경우가 종종 발생되고 있다. 이런 상황을 방지한다는 것은 비합리적이고 비효율적인 도로관리체계라고 할 수 있다.

국내의 “도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호 안전시설편, 건설교통부, 2001)”에서는 단부처리시설에 대한 일반사항과 설치기준만을 규정하고 있어서 도로관리자는 관행적으로 기존의 위험한 단부처리시설을 그대로 설치하고 있다. 또한 일반적인 사회통념상 단부충돌사고에 대한 심각성을 인식하지 못하고 있고 관련 연구 또한 전무한 상황이다.

본 연구에서는 90년대 초반부터 단부처리시설에 대한 연구개발이 수행되어진 외국의 설치사례 및 성능평가기준을 검토하여 국내실정에 적합한 단부처리시설 성능평가기준(안)을 수립하고 충돌시물레이션과 실물차량충돌시험을 통해 검증된 단부처리시설을 개발하고자 하였다.

또한 가드레일 단부처리에 대한 현재의 설치관행이 얼마나 위험한 것인지를 깊이 인식하고, 더 이상 탑승자의 안전을 위협하는 시설이 아닌 탑승자를 보호할 수 있는 단부처리시설을 개발함으로써 도로의 안전도를 개선 및 향상시키고자 하였다.

2. 국내 노측 가드레일용 단부처리시설 설치현황 및 문제점

우리나라의 경우 2001년 개정된 “도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호 안전시설편, 건교부)”을 통해 단부처리시설에 대한 정형화된 설치기준만을 소개하고 있을 뿐 성능평가기준에 대한 부분은 다루고 있지 않고 있다.

현재 우리나라에서 사용중인 “도로안전시설 설치 및 관리지침”의 성능평가 기준은 주로 유럽의 CEN 기준을 차용하여 개정한 것이나 단부처리시설에 대한 성능평가기준은 전혀 언급하고 있지 않고 있으며 단부처리시설의 일반사항과 구조 및 형식에 대한 내용만을 기술하고 있다.

지침에서 제시하고 있는 단부처리시설로는 가드레일, 가드케이블, 박스형 보로 구분하여 단부처리방법을 나타내고 있다. 하지만 가드케이블과 박스형 보를 이용한 방호울타리는 아직 국내에서 차량방호울타리의 성능평가기준에 따라 검증된 제품이 존재하고 있지 않은 실정이고 단지 2001년 지침이 개정되기 이전에 설치된 제품이 몇몇 있을 뿐 현재에는 설치할 수도 없는 형식이다.

또한 가드레일의 단부처리방법을 두 가지 형식으로 제안하고 있는데, 단부를 길 바깥쪽으로 구부리는



단부처리와 절토부에 고정하는 단부처리이다. 하지만 단부를 길 바깥쪽으로 구부리는 단부처리방법(그림 1 참조)의 경우에는 차량을 찌르는 충돌거동(spearing)을 보일 가능성이 매우 높다.

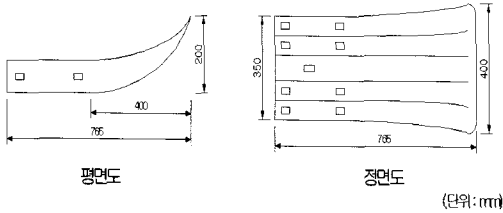
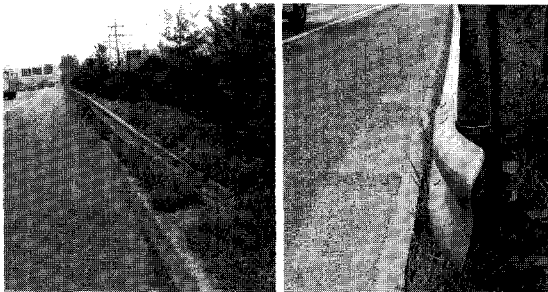


그림 1. 길 바깥쪽으로 구부리는 단부처리 예

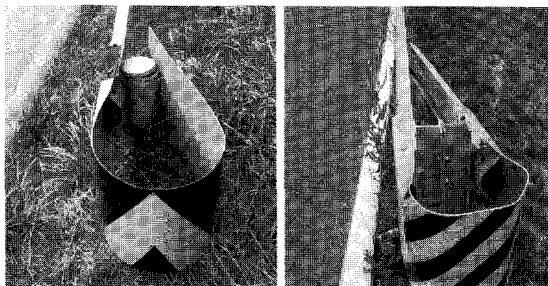
국내의 고속도로나 국도에서 가드레일의 단부처리 방법으로는 그림 2와 같은 형태가 주를 이루고 있다.

2001년交通部에서 발행한 “도로안전시설설치 및 관리지침”의 단부처리시설 설치기준에 제시하고 있는 그림2(b)와 같은 가드레일 단부가 대부분의 국도에서 사용되어지고 있으며, 고속도로에서는 그림 2에 있는 모든 형식의 단부처리 방법을 병행하여 사용하고 있다.



(a) 땅속 매입형

(b) 굴곡형



(c) 원형

그림 2. 국내 가드레일의 단부처리시설 현황

고속도로에서 흔히 볼 수 있는 레일을 구부려 땅속으로 묻는 형태(그림 2(a))는 차량의 전복을 유도할 수 있으며, (b), (c)와 같이 검증되지 않은 가드레일 단부처리시설은 차량의 내부를 관통하여 탑승자에게 치명적인 상해를 입힐 수 있다.

실물차량 충돌시험을 통한 검증을 거치지 않고 설치된 방호울타리의 단부처리시설에 차량이 충돌하여 탑승자에게 치명적인 상해를 입힐 수 있는 차량의 충돌거동을 살펴보면 그림 3과 같이 Rolling, Spearing, Vaulting으로 대변된다.

차량방호울타리의 궁극적인 목적은 탑승자의 안전을 확보하는 것이다. 하지만 일반구간이 아닌 단부에 차량이 충돌하였을 경우 오히려 탑승자의 안전을 위협하는 시설로 전락하는 사례가 빈번하다.

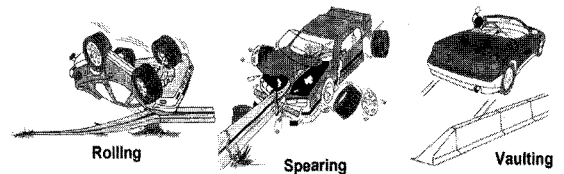


그림 3. 검증되지 않은 차량방호울타리 단부처리시설의 충돌거동

그림 4는 검증단계를 거치지 않고 설치관례에 따라 설치된 가드레일의 단부에 차량이 충돌할 경우 치명적인 사고사례를 나타낸 것이다.

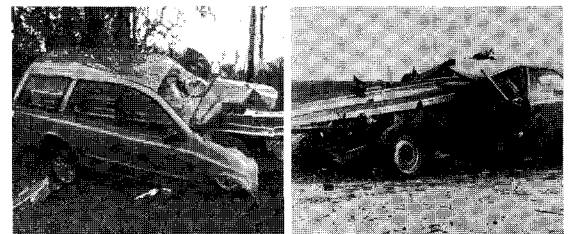


그림 4. 가드레일 단부처리시설에 충돌한 차량의 사고사례

도로관리주체나 관련 실무자들은 단부처리시설의 중요성에 대한 인식이 부족한 것이 사실이며 차량과 탑승자의 안전을 확보해야 하는 가드레일이 오히려 탑승자의 안전에 치명적인 위협요소가 되고 있음을 인식하여야 한다.



따라서 지침의 개정을 통해 관행적인 설치기준만을 제시할 것이 아니라 단부처리시설의 성능평가기준을 도입하여 치명적인 사고의 발생빈도를 감소시키는 것이 필요하다.

3. 단부처리시설 성능평가기준 정립

단부처리시설은 주행로를 벗어난 차량의 충격에너지를 흡수하여 차량을 안전하게 멈추게 하거나 차량의 방향을 복귀시켜 주는 기능을 갖추어야 한다.

방호울타리의 단부는 그 구조적 특성상 일반구간에 비해 차량을 찌르는 형으로 되어 있어 탑승자에게 더 큰 상해를 제공할 가능성이 높기 때문에 가능한 단부의 개소를 최소화해야 하며 성능평가를 거쳐 그 성능이 검증된 단부처리시설을 설치하도록 하는 것이 중요하다.

단부처리시설은 설치장소에 따라 중앙분리대용, 노측용, 교량용으로 구분될 수 있으며 그 기능에 따라 약간의 차이를 보인다. 예를 들어 노측용과는 다르게 중앙분리대용 방호울타리에 설치되는 단부처리시설은 양방향 차선의 충돌방향을 모두 고려하여야 하고 부차적으로 방현기능, 운전자의 시야확보 등이 고려되어야 한다. 또한 교량난간에 설치되는 단부처리시설의 경우에는 교량용 방호울타리의 구조적 형태를 고려하여 설계되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시하는 단부처리시설의 충돌시험조건 및 성능평가기준(안)은 미국(NCHRP 350)과 유럽(CEN) 단부처리시설 성능평가기준을 참조하여 국내여건에 맞게 기준을 정립하였다.

표 1은 단부처리시설 성능평가기준(안)의 등급별 충돌시험조건으로 설치장소에 따른 방호능력이 증가함에 따라 분류된 것이며 사용자는 설치하고자 하는 도로의 설계속도 등을 감안하여 적당한 등급의 충돌시험조건을 선택하여야 한다. 일반적으로 특정한 등급으로 시험에 만족한 성능을 보인다면 보다 낮은 등급의 시험조건에서도 만족할 것이다.

표 1. 단부처리시설의 충돌시험조건(안)

시험 등급	충돌 속도 (km/h)	차량 중량 (kg)	충돌 방법	충돌 방향
ET1	60	1,300	시험 ①	정면충돌(시설중앙)
			시험 ②	측면 15° 충돌
			시험 ③	측면 165° 충돌
ET2	80	1,300	시험 ①	정면충돌(시설중앙)
			시험 ②	측면 15° 충돌
			시험 ③	측면 165° 충돌
ET3	100	1,300	시험 ①	정면충돌(시설중앙)
			시험 ②	측면 15° 충돌
			시험 ③	측면 165° 충돌

- 주) 1. ET - End Treatment
 2. 중앙분리대에 설치되는 단부처리시설의 경우 시험 ③을 수행하여야 하며 노측용이나 교량용 방호울타리의 경우에는 시험 ③을 생략한다. 단, 대향차로 주행차량이 중앙선을 넘어 침범할 수 있다고 판단되는 구간에는 시험 ③을 수행한다.
 3. 곡선의 형상으로 설치되는 단부처리시설의 경우 시험 ③의 충돌 지점의 접선과 교통류의 진행방향의 각도 α 가 5°보다 작을 경우 시험 ③을 생략한다.

그림 5는 각 충돌방법에 따른 충돌차량의 충돌위치 및 충돌방향을 나타낸 것이고 표 1은 시험등급별 충돌시험조건(안)을 나타낸 것이다.

단부처리시설의 설치목적은 대형차량의 방호성을 위한 것이기보다는 소형차량이 방호울타리의 단부에 충돌할 경우 단부가 차량을 찌르거나 차량이 전복되는 충돌상황을 방지하여 탑승자의 안전을 확보하기 위한 시설이므로 성능평가용 충돌차량의 중량은 1.3ton 소형차량으로 하였다.

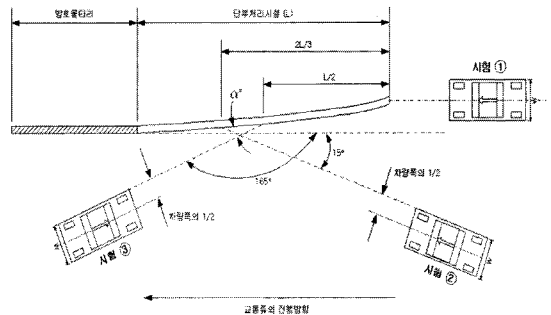


그림 5. 충돌차량의 충돌위치 및 충돌방향



국내 도로의 설계속도를 감안하여 차량의 충돌속도는 시험등급에 따라 60km/h, 80km/h, 100km/h로 구분하였으며, 충돌각도는 일반적인 충돌차량의 진입각도를 고려하고 외국의 시험기준을 참고하여 0°, 15°, 165° 하였다.

실물차량 충돌시험을 통한 단부처리시설의 성능평가는 탑승자 보호성능, 단부처리시설의 거동, 충돌 후 차량의 거동 등의 3가지 항목으로 크게 구분된다.

3.1 탑승자 보호성능

단부처리시설은 탑승자의 안전성능을 평가하기 위하여 표 2의 탑승자 충돌속도(THIV)와 탑승자 가속도(PHD)를 제안하였다. 표 2의 탑승자 안전도 평가 기준(안) 한계값은 탑승자를 보호할 수 있는 최소한의 기준값으로 유럽기준 및 국내 차량보호 안전시설 탑승자 보호성능 기준값과 동일한 한계값을 사용하였다.

표 2. 탑승자 보호성능 평가기준(안)

기준 항목	단위	한계 값
탑승자 충돌속도 (중·횡방향) THIV	km/h	44 (시험 ①)
		33 (시험 ②, ③)
탑승자 가속도 (중·횡방향) PHD	g	20

주) : $g=9.8 \text{ m/s}^2$

3.2 단부처리시설의 거동

단부처리시설의 부재가 분리되거나 변형되어 인접 차로를 침범하지 않는 것이 가장 바람직하다. 하지만 현장여건이나 설치장소에 따라 요구되는 변형성능이 다르기 때문에 변형한계치를 설정하는 것은 무리가 있다.

예를 들면, 중앙분리대에 설치되는 단부처리시설

의 경우 대향차선을 고려한다면 변형거리가 너무 크면 안될 것이다. 반면 도심지를 제외한 일반구간에 설치되는 노측용 단부처리시설의 경우 충돌후방으로의 변형거리가 크다 할지라도 2차사고 및 제3자에게 피해를 줄만한 원인을 제공하지 않을 것이다.

단지, 충돌시험에서 발생된 변형거리를 정확히 측정하고 기록함으로써 도로관리자가 적용하고자 하는 단부처리시설의 변형거리를 정확히 파악할 수 있도록 하여 객관적인 판단을 할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

단부처리시설의 거동은 다음의 평가기준을 만족하여야 한다.

- 단부처리시설의 부재가 차량의 내부공간을 관통하지 말아야 하며 탑승자에게 큰 부상을 줄 수 있는 차량 내부공간의 변형이 없어야 한다.
- 단부처리시설은 차량충돌시에 구성부재가 도로상이나 도로밖으로 비산하여 탑승자나 제3자에게 피해를 줄만한 요소를 제공해서는 안된다.
- 이를 시험결과보고서에 기록하고 사진을 첨부하여 도로관리자가 도로여건 등을 판단하여 적정 시설을 선택할 수 있도록 한다.

3.3 충돌 후 차량의 거동

충돌 후 차량의 거동을 평가하는 이유는 일차충돌 후 충돌차량의 궤적에 따라 다른 차량과의 이차충돌이 발생되거나 다른 고정시설물에 충돌할 수 있는 잠재성을 평가하기 위함이다.

차량이 단부처리시설에 충돌하여 다소 큰 Rolling, Pitching, Yawing 거동을 보이더라도 차량은 충돌중이나 충돌후에 지면에 바로 서있어야 한다.

3.4 성능평가기준(안)을 적용한 기존 노측 가드레일용 단부처리시설 성능평가

본 연구에서는 새로운 노측 가드레일용 단부처리시설을 개발하기 앞서 기존 단부처리시설의 성능 및



성능평가기준(안)을 파악하고자 한국도로공사 고속도로 표준도의 원형 가드레일 단부처리시설을 시험 대상으로 삼아 성능평가를 수행했다. 성능시험에 사용된 단부처리시설은 다음 그림 6과 같다.



그림 6. 기존 단부처리시설 설치사진

현재 국내의 지침에는 단부처리시설에 대한 성능평가기준이 없으므로 충돌시험을 위한 시험조건은 본 연구를 통해 제안된 단부처리시설의 성능평가기준(안)을 따랐다. 충돌조건으로 ET2등급을 적용하였으며, 시험차량은 1.3ton 소형차를 대상으로 충돌 속도 80km/h, 정면으로 충돌하였다.

시험차량은 단부중앙에 초기충돌하여 0.05초에 1번 지주가 차량의 앞범퍼에 충돌하였으며 레일의 끝단부는 차량의 엔진룸으로 관통하면서 0.088초에 레일의 끝단부가 차량의 앞유리를 뚫기 시작하였으며, 0.12초에 1번 지주가 완전히 구부러지는 거동으로



그림 7. 충돌차량의 충돌거동

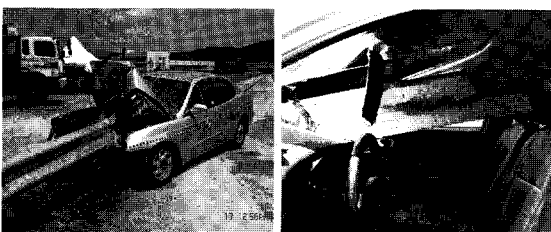


그림 8. 충돌후 단부처리시설과 차량의 상태

나타났다..

그림 7과 8은 충돌차량의 거동과 충돌후 차량을 관통한 단부처리시설의 파괴상태를 보여주고 있다.

1) 충돌거동분석

충돌차량이 단부처리시설과 충돌하여 1번 지주와 레일이 이탈되어 지주가 완전히 구부러졌고 레일의 끝단부는 엔진룸을 지나 차량내부로 관통되었으며 차량의 앞범퍼가 2번 지주에 충돌하면서 정지하였다.

레일의 끝단부가 엔진룸을 관통하면서 본넷이 위로 변형되었으며 차량의 앞유리를 관통하여 차량의 내부공간으로 침입하였다.

레일의 끝단부는 차량의 앞범퍼로부터 차량의 내부공간으로 약 250cm 관통되어 앞좌석의 바로 뒷부분까지 침입하였으며 이를 그림 9에 나타내었다.



그림 9. 충돌후 차량의 관통상황

이 성능평가를 통해, 도로를 주행하는 차량과 탑승자의 안전을 위해 설치되는 기존의 가드레일 단부처리시설이 오히려 탑승자의 안전을 위협하는 무기가 될 수 있다는 것이 확인되었다.

2) 탑승자 안전도 분석

탑승자 안전지수를 계산하기 위하여 차량의 무게 중심점에 X축, Y축, Z축 가속도와 Yaw 각속도를 계측하였으며 데이터의 Sampling Rate는 10,000Hz로 하였다. 계측된 데이터를 처리하여 탑승자 안전지수를 계산한 결과는 표 3에 나타내었으며 그림 10은 THIV, PHD 그래프를 각각 나타낸 것이다.



표 3. 기존 단부처리시설의 탑승자 안전지수

평가 항목	결과 값
탑승자 충돌속도 (중·횡방향) THIV	46.5km/h (at 0.1171 sec)
탑승자 가속도 (중·횡방향) PHD	12.4g (at 0.1269 sec)

주) : $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

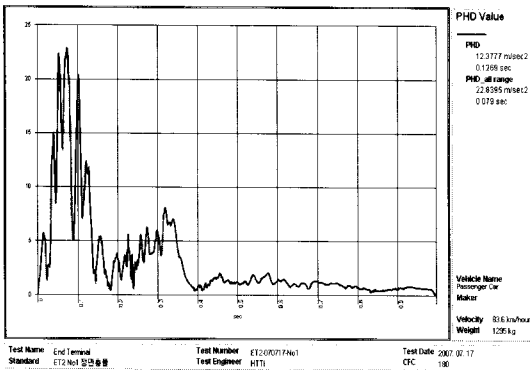
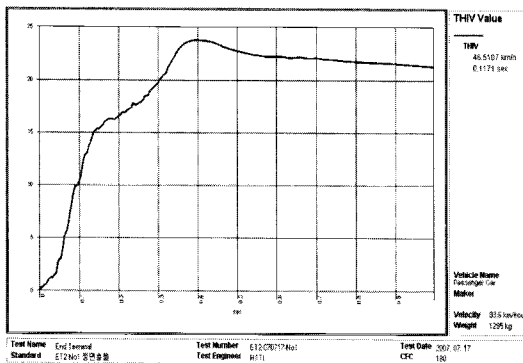


그림 10. THIV, PHD 그래프

위와 같은 결과를 유럽기준이나 성능기준(안)에 적용한다면, THIV는 44km/h 이하여야 하지만 초과하여 만족하지 못한 결과로 나타나 탑승자의 안전도는 취약했으며 기존 노측 단부처리시설은 성능상 문제점이 입증돼 새로운 시설물의 개발이 필요했다.

4. 노측 가드레일용 단부처리시설 개발

4.1 개요 및 개발배경

미국과 유럽의 경우 1990년대 초반부터 관련지침에 단부처리시설 평가기준을 수록하여 실차 충돌시험을 수행하였으며 관련 연구 또한 활발히 진행되어 현재에는 약 15종의 검증된 단부처리시설이 설치되고 있다.

반면 국내의 경우 성능평가기준이 없고 설치기준만 있어서 가드레일 단부의 위험성을 인식하지 못하고 획일적인 단부처리방법을 택하고 있으며 관련연구 또한 전무한 상황이다.

기존의 노측 가드레일용 단부처리시설은 충돌시험을 통해 탑승자에게 가장 치명적인 충돌거동인 차량 관통(spearing)이 발생하는 것으로 나타났다. 그 뿐만 아니라 탑승자보호성능 수치도 위험수치를 넘어서 탑승자의 안전을 지키지 못하는 시설물로 평가되었다.

이러한 현실적인 이유로 인하여 본 연구에서는 도로 이용객의 안전을 위해 기존의 노측 단부처리시설을 대신할 성능이 검증된 새로운 단부처리시설을 개발하고자 하였다.

국내에는 성능평가를 통해 검증된 노측용 방호울타리는 약 10여종이 있으며, 그 중 고속도로에 설치되는 노측용 방호울타리(SB3등급)에 설치할 수 있는 단부처리시설을 개발하고자 하였다. 뿐만 아니라 노측용으로 폭넓게 사용되고 있는 Thrie-Beam, 원형지주를 사용한 노측용 방호울타리에도 손쉽게 적용이 가능하도록 하였다.

최근에는 다양하고 정밀한 수치해석 프로그램이 개발되어 구조계산에 사용되고 있으나 소요되는 시간과 비용에 비해 신뢰도는 높지 않다. 또한 충돌차량의 충격하중에 저항하는 단부처리시설 시스템의 복잡한 충돌거동을 각 부재별로 구조계산한다는 것은 사실상 불가능하다. 다만 기존의 개발사례를 조사하고 면밀히 검토하여 각 부재의 구조적 특성에 적합하도록 시스템을 구성하는 것이 중요하며 최종적으로



로 시뮬레이션을 통해 단부처리시설 시스템의 충돌 거동을 파악하고자 했다. 각 주요 부재의 구조적인 검토사항을 나타내면 다음과 같다.

① 레일

- 일반적인 가드레일의 단부에 차량이 정면으로 충돌할 경우 차량의 내부로 레일이 관통하는 사고가 가장 위협적이며 이를 방지할 수 있는 레일의 구조적인 검토가 필요했다.
- 우선 차량이 최초 충돌하는 레일의 단부에 넓은 면을 부착하여 찌르는 형상이 되지 않도록 하여야 하고 또한 레일의 축방향 강성이 너무 크므로 차량을 관통할 수 있는 하중을 분산시키는 방안이 필요했다.

② 지주

- 일반적인 지주는 길이방향과 횡방향 강성이 같거나 비슷하다. 하지만 단부처리시설에 사용되어지는 지주는 길이방향 강성은 약하고 횡방향 강성은 유지할 수 있는 구조를 가져야 한다. 외국의 경우 목재지주를 사용하여 단부 충돌시 지주가 쉽게 부러지도록 설치하는 경우가 많다. 하지만 국내에는 목재지주를 사용한 예가 없으며 금기시하는 인식이 많다.
- 따라서 원형지주를 사용하되 길이방향 충돌에는 쉽게 변형되고 횡방향 하중에는 어느 정도 저항력을 발휘할 수 있는 지주를 사용했다..

③ 단부고정 케이블

- 단부처리시설은 충돌차량이 단부에 정면충돌하는 경우와 레일의 측면에 충돌하는 경우를 모두 고려하여 설계하여야 했다. 차량이 단부처리시설의 축방향에 충돌할 경우 레일은 인장력으로 충돌하중에 저항하여야 하고 지주는 길이방향 강성으로 레일을 잡아주어야 한다.
- 하지만 차량이 단부에 충돌할 경우에는 오히려 축방향 강성이 적어야 한다. 따라서 단부 정면충돌의 경우에는 쉽게 이탈되고 측면충돌에는 고정되어 하중에 견딜 수 있도록 설계하여야 했다.

- 그래서 단부고정 케이블을 사용하여 정면충돌과 측면충돌의 상반되는 충돌하중을 모두 만족할 수 있도록 하였다.

4.2 새로 개발한 노측 가드레일용 단부처리시설 성능평가

4.2.1 충돌 시뮬레이션 수행 및 결과

본 연구에서는 국내실정에 알맞은 단부처리시설의 개발을 위하여 LS-DYNA 프로그램을 이용하여 충돌시뮬레이션을 수십차례 수행하여 표 4의 가드레일용 단부처리시설을 개발하였다.

LS-DYNA는 도로안전시설과 차량의 부재를 모델링할 수 있는 다양한 요소들을 갖고 있으며, 이 요소들의 특성은 부재의 복잡한 비탄성, 비선형 거동을 정의할 수 있다. 또한 차량과 도로안전시설을 3차원으로 모델링할 수 있기 때문에 도로안전시설의 거동을 면밀하게 조사할 수 있고 차량의 움직임도 세밀히 검토할 수 있어 도로안전시설의 평가 및 주요 부재의 성능검토에도 활용되고 있다.

본 연구에서는 그림 11과 같은 Ford Taurus 차량의 Reduce 모델(NCAC, 2000)을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 충돌조건으로 E22등급을 적용하였으며 시험차량은 1.3ton 소형차를 대상으로 모델링을 하였다. 현재 국내의 지침에는 단부처리시설에 대한 성능평가기준이 없으므로 모의충돌시험을 위한 시험조건은 본 연구를 통해 제안된 단부처리시설의 성능평가기준(안)을 따랐다.

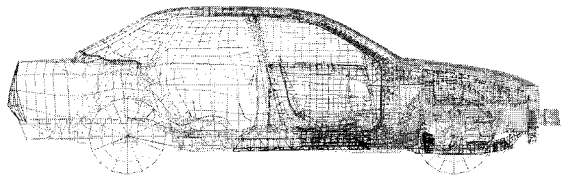


그림 11. 차량모델

1) 충돌거동 분석

LS-DYNA를 사용한 시뮬레이션을 통하여 차량의



Rolling, Pitching, Yawing의 발생여부를 살펴본 결과 정면충돌의 경우 차량의 충돌과정에서의 회전은 거의 없는 것으로 나타났고 측면 15° 충돌의 경우 Pitching은 9°, Yawing은 32°의 회전을 보였다.

차량이 단부처리시설에 정면충돌한 경우에는 진행방향으로 5.51m 진입하고 멈추었고 측면 15° 충돌의 경우 차량진행방향으로는 5.42m, 진행방향의 법선방향으로는 3.04m진입후 멈추었다. 그 밖에 단부처리시설 구성부재의 비산은 없었다.

2) 탑승자 안전도 분석

시뮬레이션 결과에 의하면 노측 단부처리시설의 정면, 측면충돌에서 THIV 및 PHD로 나타나는 탑승자 안전지수는 모든 충돌조건에 만족하는 것으로 확인되었다.

탑승자의 이론적 머리가 차량내부에 충돌하는 상대 속도 (THIV)는 정면 충돌시 0.104초에 24.2km/h, 측면 15° 충돌시 0.200초에 26.4km/h의 값을 보이고 있으며, 탑승자의 머리가 받는 최대

가속도(PHD)는 정면충돌시 0.129~0.139초 사이의 10ms 이동평균 최대가속도가 11.4g이고 측면 15° 충돌시 0.219~0.229초 사이의 10ms 이동평균 최대가속도는 12.2g인 것으로 나타났다.

단부처리시설에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과, 탑승자 보호성능, 단부처리시설의 거동, 충돌후 차량의 거동이 모든 성능평가기준에 만족하는 결과를 보였다.

4.2.2 실물차량 충돌시험 수행 및 결과

본 연구는 충돌 시뮬레이션을 통해 새로 개발된 단부처리시설의 성능검증을 위해 국내 최초로 실물차량 충돌시험을 실시하여 성능이 검증된 단부처리시설을 개발하였다. 노측용 방호울타리로 폭넓게 사용되고 있는 Thrie-Beam, 원형지주를 사용한 노측용 방호울타리에도 손쉽게 적용이 가능하도록 하였다.

단부처리시설을 개발함에 있어서 검토하여야 할 세부적인 항목을 모두 고려하고 성능평가기준(안)을

표 4. 새로 개발한 노측 단부처리시설의 특성

구 분	특 징	
구조적 특성	레일	· 레일의 굴곡점마다 5줄의 Slot을 주어 단부 정면충돌시 레일의 좌굴을 유도하여 차량관통 방지함
	지주	· 4본의 지주는 상단과 하단으로 구분되며 Breakaway 시스템을 적용함 · 축방향 하중에는 미끄러지고 횡방향 하중에는 저항력 발휘함 · 첫번째 지주에는 케이블 고정 홈이 있음
	단부 고정 케이블	· 첫번째 지주의 하단과 레일의 고정단에 설치하여 인장력 발휘함 · 축방향 충돌에는 쉽게 풀리도록 설계되었으며 횡방향 충돌에는 레일의 인장력을 보강함
	Head	· 레일의 단부에 부착되어 충격면을 넓게 함으로서 차량관통을 방지함
	충격 흡수재	· Head의 전면에 고무재질의 충격흡수재를 부착, 충격을 흡수함
	시스템 성능	· 모든 부재의 성능을 고려하여 최적의 충격흡수 성능을 발휘하도록 설계함
경제성	· 기존의 단부처리시설에 비해 경제성 낮음	

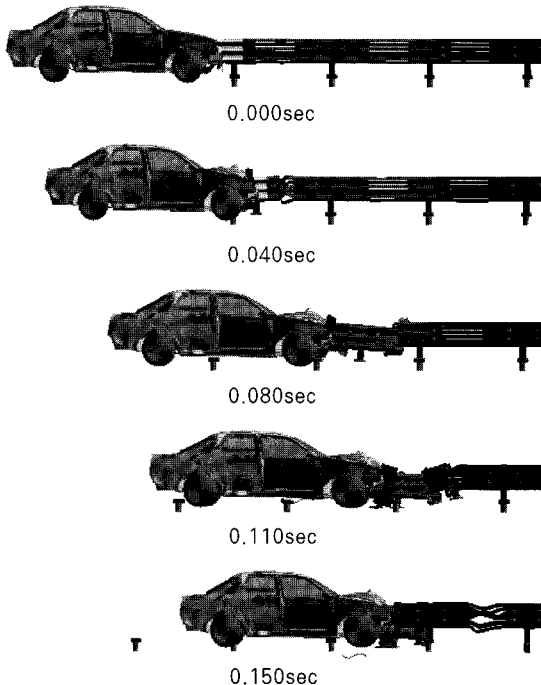


그림 12. 정면충돌시 시간에 따른 충돌후 차량의 거동



적용한 성능검증을 통해 단부처리시설 시스템을 표 4와 같이 개발하였다.

실물차량 충돌시험을 위한 충격흡수형 단부처리시설의 설치는 일반구간과 단부처리구간으로 구분하여 총 16m 설치하였으며 8m는 일반구간이며 8m는 단부처리구간이었다. 일반구간에는 현재 한국도로공사 표준도의 SB3등급에 적용되고 있는 노측용 방호울타리를 설치하였다.

단부처리시설은 일반구간의 길이방향과 동일한 방향으로 설치되었으며 그림 13은 충돌시험을 위해 설치된 단부처리시설의 설치사진을 나타낸 것이다.

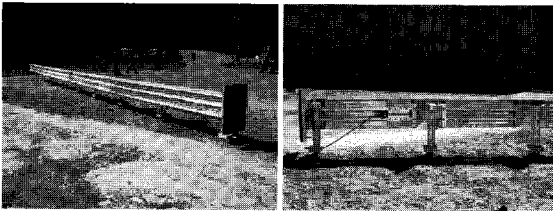


그림 13. 충돌시험을 위해 설치된 단부처리시설

충돌시험조건은 단부처리시설의 성능평가기준(안) ET2등급을 적용하여 충돌시험을 수행하였다. ET2등급의 충돌시험은 총 3회를 수행하도록 하였으나 노측용이나 교량용 방호울타리의 단부처리시설의 경우 시험 ③을 생략할 수 있으므로 시험 ①과 시험 ②를 수행하였다.

그림 14는 충돌시험에서 수행한 충돌차량의 충돌위치 및 충돌방향을 나타낸 것이고 표 5는 충돌시험에 적용된 ET2등급에 대한 충돌시험조건을 나타낸 것이다.

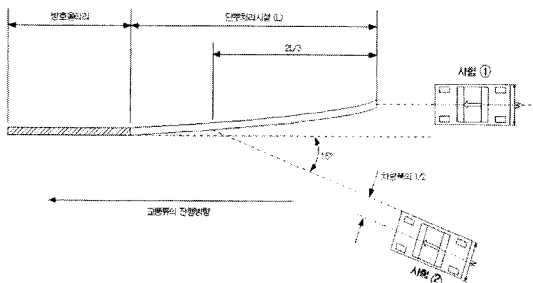


그림 14. 충돌차량의 충돌위치 및 충돌방향

표 5. 충돌시험 조건

시험 등급	충돌 속도 (km/h)	차량 중량 (kg)	충돌 방법	충돌 방향
ET2	80	1,300	시험 ①	정면충돌 (시설중앙)
			시험 ②	측면 15° 충돌

1) 충돌거동 분석

정면충돌과 측면충돌 모두 단부처리시설의 부재가 차량의 내부공간을 관통하지 않았으며 탑승자에게 큰 부상을 줄 수 있는 차량 내부공간의 변형이 없었다.

단부처리시설은 차량충돌시에 구성부재가 도로상이나 도로밖으로 비산하여 탑승자나 제3자에게 피해를 줄만한 요소를 제공하지 않았다.

기존의 단부처리시설을 충돌시험과 비교하였을 때, 월등히 우수한 성능을 보였으며 차량내부의 관통이나 차량 내부의 변형은 없었다. 단지 앞유리에 크랙이 발생하는 정도의 파손을 보였다.

충돌차량이 단부처리시설에 충돌하였을 경우 단부처리시설의 변형거리는 차량의 에너지를 얼마나 효과적으로 흡수하는지를 간접적으로 판단할 수 있는 지표라 할 수 있다.

기존 단부처리시설의 시험결과 차량은 단부처리시설의 끝단에서부터 약 250cm 진입하고 정지하였으나 개발단부처리시설의 경우 충돌차량은 단부처리시설의 끝단에서부터 약 460cm 진입하고 정지하였다. 개발단부처리시설의 늘어난 변형거리만큼 충돌차량의 충돌에너지를 개발단부처리시설이 흡수하여 탑승



그림 15. 차량의 충돌거동



자의 안전도를 향상시켰음을 의미한다.

그림 15와 그림 16은 정면충돌 후 단부처리시설과 차량의 상태를 나타낸 것이다.



그림 16. 정면충돌 후 단부처리시설과 차량의 상태

2) 탑승자 안전도 분석

정면충돌과 측면 15° 충돌의 각 계측된 데이터를 처리하여 탑승자 안전지수를 계산한 결과는 표 6에 나타내었으며 그림 17은 정면충돌의 THIV, PHD 그래프를 나타낸 것이다. 단부처리시설의 성능평가기준(안)에 따라 정면충돌 및 측면 15° 충돌에서 모두 THIV와 PHD가 모두 만족하는 결과를 보였다.

개발단부처리시설의 검증을 위해 실물차량 충돌시험을 실시하였으며 ET2등급의 시험 ①과 시험 ②를 시험한 결과 모든 성능평가기준에 만족하였다.

특히, 기존 단부처리시설을 시험한 결과 차량내부의 관통이 있어서 탑승자에게 매우 위험한 거동을 보인 반면, 새로 개발한 단부처리시설의 경우 차량내부의 관통이 발생하지 않았으며 탑승자 안전지수도 모두 만족한 결과를 보였다.

표 6. 개발한 단부처리시설의 탑승자 안전지수

구 분	기준 항목	한계값(안)	시험 결과
시험 ① 정면충돌	THIV	44 km/hr 이하	27.8 km/hr at 0.1369 sec
	PHD	20 g's 이하	15.2 g's at 0.1669~0.1769 sec
시험 ② 측면 15° 충돌	THIV	44 km/hr 이하	21.0 km/hr at 0.1457 sec
	PHD	20 g's 이하	4.5 g's at 0.1457~0.1557 sec

주) : $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

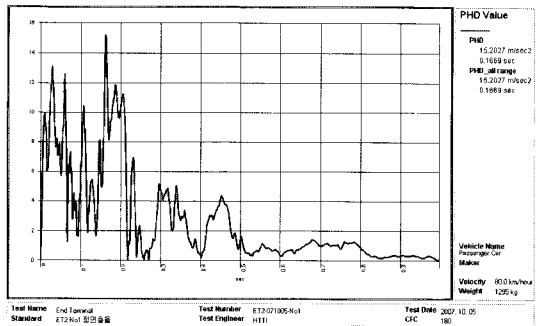


그림 17. 정면충돌 결과 THIV, PHD 그래프

5. 결론

외국의 경우 가드레일 단부에 대한 위험성을 일찍이 인식하고 성능평가기준을 마련하여 관련연구 및 개발을 활발히 수행하여 왔으며 특히 미국의 경우 약 15종의 검증된 단부처리시설을 개발하여 설치하고 있다. 반면에 국내에서는 관련연구 및 개발이 시도된 적이 없으며 가드레일 단부의 치명적인 위험성에 대한 인식이 많이 부족하여 관행적인 설치방법을 벗어나지 못하고 있다.

본 연구에서는 국내 도로환경에 적합하면서 탑승자의 안전성을 만족하는 노측용 가드레일의 단부처리시설을 개발함으로써 보다 안전한 도로환경을 제공하고자 하였다. 또한 도로관리자는 기존 단부처리방법의 치명적인 위험성을 깊이 인식하여야 할 필요성이 있으며 본 연구를 시작으로 보다 다양하고 폭넓은 관련연구가 촉발될 수 있을 것이라 기대된다.



참고문헌

건설교통부, “도로안전시설 설치 및 관리 지침 - 차량방호 안전시설 편”, 2001.
건설교통부, “차량방호안전시설 실물충돌시험 업무편람”, 2001.
건설교통부, “중앙분리대 종합기본계획 수립(2단계) 연구”, 2004.
경찰청, “도로 교통사고 사회적 비용 추계 연구 결과”, 2006.

日本道路協會, “防護柵設置要綱”, 2004.

FHWA, “NCHRP Report 350- Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features”, 1993.

접 수 일: 2008. 1. 25

심 사 일: 2008. 1. 28

심사완료일: 2008. 3. 5