

레일과 지주의 강성에 따른 차량방호울타리의 충돌거동 분석 연구

Study on Behavior Analysis of Roadside Safety Barriers for Strength of Rail and Post

장대영* · 주재웅** · 배종환*** · 이재성****

Jang, Dae Young · Joo, Jae Woong · Bae, Jong Hwan · Lee, Jae Sung

1. 서 론

한국도로공사 도로교통연구원에서 2004년 국토해양부로부터 도로안전시설 성능시험기관으로 지정받아 도로안전시설에 대한 공인 성능평가시험을 수행하고 있으며, 현재까지 도로안전시설에 대한 충돌시험을 총 166회 수행하였고 그 중 노측용 방호울타리를 57회 수행하였다. 하지만 축적된 시험데이터를 분석하는 작업을 활발히 진행하지 못하고 소중한 자료의 활용을 소홀히 하였다. 축적된 시험결과를 정리, 분석하여 연구논문 및 연구보고서에 소개함으로써, 도로관리자 및 연구 개발자가 활용할 수 있는 가치는 매우 클 것이다. 특히 기존의 경험적인 자료를 바탕으로 하여 반복되는 설계상의 과오를 방지하고 보다 발전된 방호울타리의 개발에 중요한 밑거름이 될 것이다.

일반 구조물과는 달리 차량방호울타리는 구조물 자체의 파손을 전제로 하는 구조물(Sacrificial Structure)로서, 방호울타리가 변형되면서 차량의 충돌하중을 흡수하고 안전하게 방향을 선회시켜주는 역할을 한다. 따라서 방호울타리의 강성 변화(지주 또는 레일)에 따른 차량과 방호울타리의 충돌거동을 분석함으로써, 요구되는 성능에 적합한 방호울타리의 설계가 좀더 쉬워질 것이다. 물론 광범위한 방호울타리의 형상과 시험조건을 정리하여 일정한 충돌거동을 파악하기란 쉽지 않다. 다시 말해 지주, 레일, 블록아웃, 근입깊이, 설치높이, 충돌조건, 재질 등이 각기 다른 방호울타리를 지주 강성에 따라, 혹은 레일의 강성에 따라 분석하기에는 변수가 너무 많다.

본 연구에서는 다양한 노측용 방호울타리 중에서 레일의 강성은 일정하되 지주의 강성이 변하는 경우와 지주의 강성은 일정하되 레일의 강성이 변하는 경우에 대해서 충돌차량의 거동, 방호울타리의 변형, 탑승자 안전지수 등을 분석하여 일정한 충돌경향을 파악하고자 한다.

2. 성능평가 기준 및 분석 대상시설

2.1 성능평가 기준

차량방호울타리는 시설물의 구조적 안정성 검증을 위한 강도성능과 탑승자의 안전성을 모두 만족할 수 있어야 하며, 국토해양부 지침에서는 시설물의 강도(충격도)에 따라 7등급으로 구분하여 각각의 시험조건을 제시하고 있다. 대형차량의 강도성능을 만족하기 위해서는 방호울타리를 강하게 설계할수록 만족스러운 결과를 보이므로 강성 변화에 따른 충돌거동을 분석한다는 것은 의미가 없다. 따라서 본 연구에서는 대형차량의 강

* 준회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 도로시험팀 연구원(E-mail : dmyoung@daum.net) -발표자

** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 도로시험팀 전임연구원(E-mail : jjw123@ex.co.kr)

*** 비회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 도로시험팀 팀장(E-mail : jhbae@ex.co.kr)

**** 비회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 도로시험팀 차장(E-mail : tornado@ex.co.kr)



도성능은 배제하고, 방호울타리의 강성 변화에 따른 소형차량의 충돌거동 및 탑승자 보호성능을 분석하였다.

차량방호울타리의 설계는 구조계산, 전산분석(computer simulation), 간이시험, 실물충돌시험 등을 통해 성능을 평가할 수 있다. 하지만 미국이나 유럽뿐만 아니라 국내 지침에서는 최종적으로 실물차량 충돌시험을 통해 차량방호울타리의 성능을 확인하도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 동일한 충돌조건에서 방호울타리의 강성에 따른 충돌거동을 분석하고자 하므로 SB3등급 노측용 방호울타리에 대한 시험결과를 대상으로 하였다. SB3등급 소형차량의 충돌시험 조건은 표 1과 같고 성능평가 기준은 표 2와 같다.

표 1. SB3등급 충돌시험 조건

등 급	충돌속도(km/h)	차량중량(ton)	충돌각도(°)
SB3	100	1.3	20

표 2. 차량방호울타리의 성능평가 기준

측정항목	성능평가 기준
탑승자 보호성능	<ul style="list-style-type: none"> ○ 탑승자 충돌속도(THIV, 중형방향) 33km/h 이하일 것 ○ 탑승자 가속도(PHD, 중형방향) 20g 이하일 것
강도성능	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강도를 유지할 것 ○ 최대 충돌 변형거리가 1.1m 이하(고속 매입의 경우) ○ 구성부재가 비산하여 탑승자나 제3자에게 피해를 주지 않을 것
충돌 후 차량의 거동	<ul style="list-style-type: none"> ○ 충돌중이나 충돌후에 차량의 전도가 없을 것 ○ 이탈속도는 충돌속도의 60% 이상일 것 ○ 이탈각도는 충돌각도의 60% 이하일 것

2.2 분석 대상시설

차량방호울타리는 노측용, 중앙분리대용, 교량용으로 구분되며 다시 등급별로 SB1등급에 SB7등급까지 구분되므로 모든 방호울타리가 비교대상이 될 수는 없다. 모든 시설물은 적용하고자 하는 장소와 등급에 따라 서로 다른 형태(레일과 지주의 강성, 지주간격 등)로 설계된다. 예를 들어 동일한 노측용이라 할지라도 SB2등급과 SB3등급의 방호울타리는 동일하게 설계하지 않고 SB3등급을 더욱 강하고 안전하게 설계할 것이며, 동일한 등급일지라도 적용 장소에 따라 형상을 달리 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 수많은 시험결과 중 동일한 용도와 등급에서 일정한 변수에 따라 변하는 시설물을 선정하여 비교대상으로 하였다. 즉, 시험조건이 1.3ton-100km/h-20°인 SB3등급 노측용 방호울타리 중에서 레일의 단면은 일정하되 지주의 강성이 변하는 경우와 지주의 단면은 일정하되 레일의 강성이 변하는 경우를 선택하여 충돌차량 및 방호울타리의 충돌거동이 어떤 결과를 보이는지 파악하고자 하였다. 표 3은 분석 대상시설물의 특성을 나타낸 것이다. 또한 그림 1은 분석 대상시설물의 단면도와 지주의 단면도를 나타낸 것이다.

표 3. Test Parameter별 방호울타리의 특성

Test No.	레일 형상	지주 형상	지주간격	비고	
지주 강성에 따라	Test 1	Rist 형	Σ형	3m	NG
	Test 2	Rist 형	Σ형+보강판	2m	NG
	Test 3	Rist 형	원형(보강파이프)	2m	만족
레일 강성에 따라	Test A	2W형	H형	2m	NG
	Test B	2W형+D형빔	H형	2m	NG

참조) 1. 분석대상 시설물은 모두 SB3등급임. (소형차 : 1.3ton-100km/h-20°)

2. 모든 재질은 철재(SS400)임.

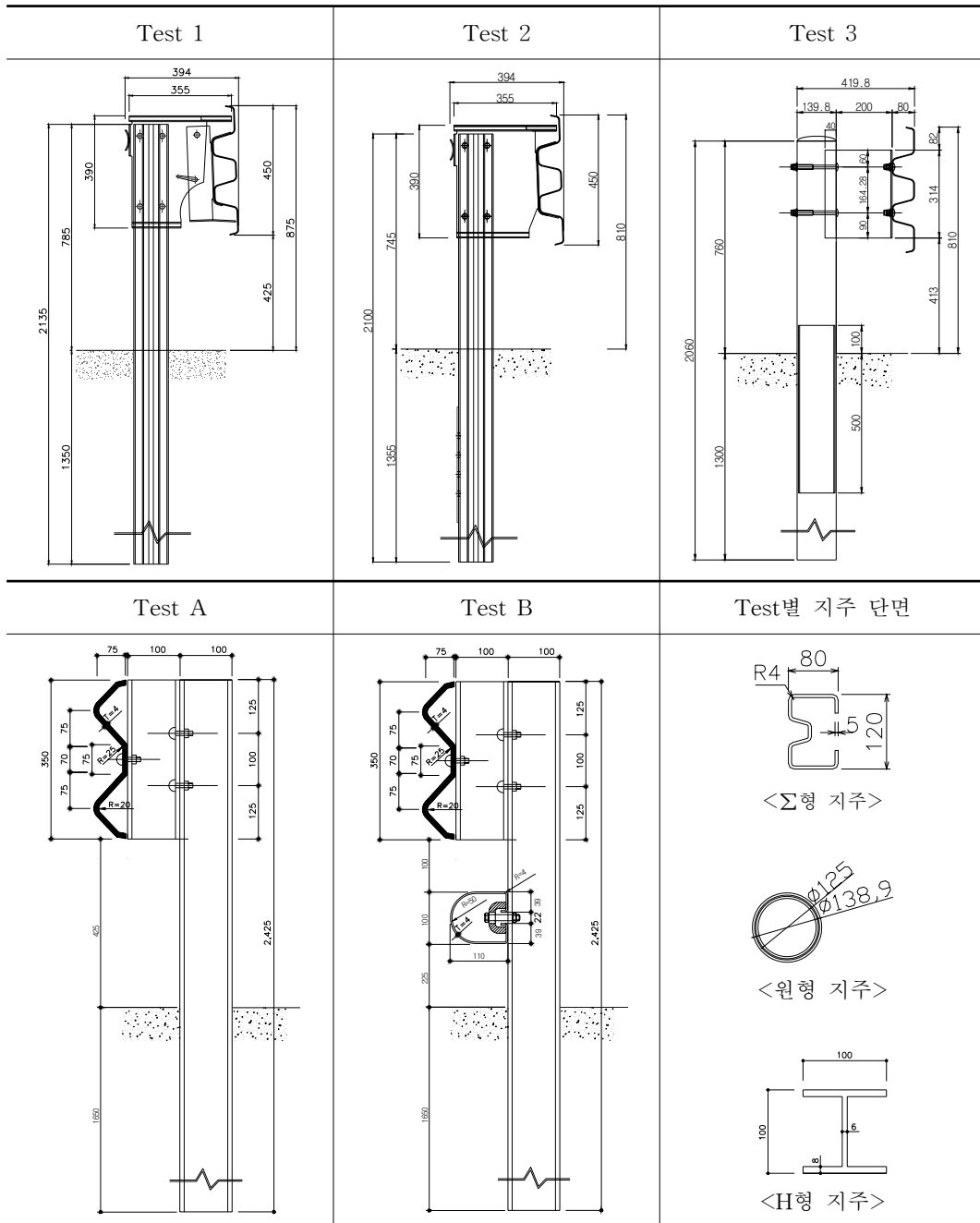


그림 1. Test Parameter별 방호울타리 단면도 및 지주 단면

그림 1에서 Test 1, 2, 3은 레일의 단면은 일정하되 지주의 강성이 변하는 경우로서, Test 1은 Σ 형 지주를 사용하였으며 지주간격은 3m이고, Test 2는 Σ 형 지주에 후면토압을 보강하기 위해 보강판(400×300)을 체결하였으며 지주간격은 2m이고, Test 3은 원형 지주(Ø139.8×4.5t)안에 보강파이프(Ø125×4.3t)를 보강한 지주를 사용하였으며 지주간격은 2m이다. 따라서 레일의 강성은 일정하면서 지주의 강성이 Test 1 < Test



2 < Test 3으로 크게 변하는 경우이다. 다만 최고 설치높이와 지주 근입깊이가 약간의 차이를 보이고 있으나 동일한 것으로 가정하여 충돌거동을 비교분석하였다.







Test A와 Test B는 지주는 H형 지주(100×100×8×6)로 일정하되 레일의 강성이 변하는 경우로서, Test A는 2W레일을 사용하였으며 Test B는 Test A와 모두 동일한 단면에서 하부에 D형 가로빔을 추가하여 레일의 강성을 크게 하였다.

3. 강성에 따른 충돌거동 분석

3.1 지주 강성에 따른 충돌거동 분석

지주 강성에 따라 Test 1, 2, 3의 충돌거동과 시험결과를 비교하여 표 4와 그림 2에 나타내었다.

표 4. 지주 강성에 따른 충돌 전·후 방호울타리

구분	Test 1	Test 2	Test 3
충돌 전 방호울타리			
충돌 후 방호울타리			
최대 변형거리	60cm	41cm	17cm

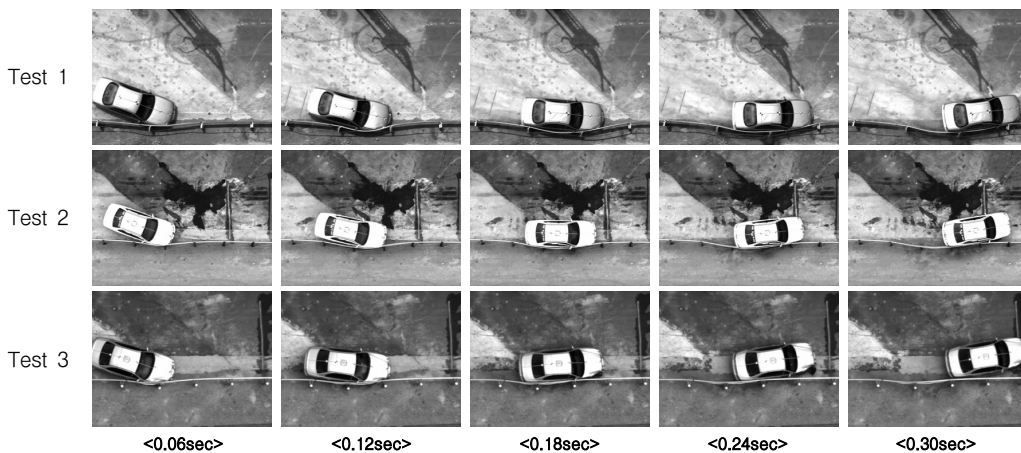


그림 2. 지주 강성에 따른 충돌거동

표 4는 충돌 전·후 방호울타리의 형상 및 변형거리를 나타낸 것으로, 지주의 강성이 커질수록 방호울타리의 최대 변형거리는 급격히 낮아지는 결과를 보였으며 지주의 강성이 방호울타리의 전체적인 구조성능에 큰 역할을 수행하고 있음을 알 수 있다. 그림 2에서 지주의 강성이 커질수록 충돌차량의 방향선회가 빨리 진행

되어 방호울타리와의 접촉시간이 작은 충돌거동을 보인 후 이탈하는 결과를 보였다.

표 5의 탑승자 안전지수 결과를 보면, 지주의 강성이 커질수록 THIV의 값은 높아지는 반면 PHD의 값은 낮아지는 결과를 보인다. 충돌초기에 발생하는 THIV(이론적 머리가 차량내부에 충돌하는 상대속도)의 경우 지주의 강성이 클수록 차량에 전달되는 충격량이 크게 되므로 THIV는 크게 나타나고, THIV의 발생 후 나타나는 PHD(이론적 머리가 차량내부에 충돌한 후 머리가 받게 되는 최대 평균가속도)의 경우 지주의 강성이 클수록 차량의 방향선회가 빠르게 진행되고 이탈되므로 PHD가 낮아지는 경향을 보인다.

그림 3은 차량의 무게중심의 가속도센서로부터 측정된 차량의 진행방향 가속도(X-axis)를 적분하여 차량의 진행방향 속도변화를 나타낸 것이다. 100km/h의 충돌속도로부터 점차 감속되는 형상을 보이고 있으며, 충돌초기(약 0.15sec 이전)에는 지주의 강성이 클수록 그래프의 기울기(차량의 감속)가 큰 반면 충돌후기(약 0.15sec 이후)에는 지주의 강성이 클수록 그래프의 기울기(차량의 감속)가 작아짐을 알 수 있다. 그림 3에서 참고적으로, 시험조건이 모두 동일한 F형 콘크리트 방호울타리의 시험결과를 함께 비교해 보았다.

표 5. 지주 강성에 따른 탑승자 안전지수

Test No.	탑승자 안전지수			
	THIV (km/h) (33 km/h 이하일 것)		PHD (g's) (20g 이하일 것)	
Test 1	24.3	0.1467	20.5	0.1680
Test 2	24.5	0.1178	19.8	0.1571
Test 3	26.1	0.1109	7.8	0.1112

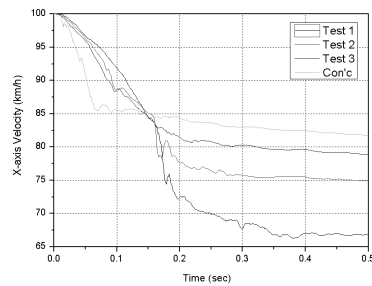


그림 3. 지주 강성에 따른 차량의 속도

3.2 레일 강성에 따른 충돌거동 분석

레일 강성에 따라 Test A와 Test B의 충돌거동과 시험결과를 비교하여 표 6과 그림 4에 나타내었다. 표 6은 충돌 전·후 방호울타리의 형상 및 변형거리를 나타낸 것으로, 레일의 강성이 큰 경우 방호울타리의 최대 변형거리는 매우 낮아지는 결과를 보였으며 레일의 강성 또한 방호울타리의 전체적인 구조성능에 큰 역할을 수행하고 있음을 알 수 있다. 그림 4에서 레일의 강성이 커질수록 충돌차량의 방향선회가 빨리 진행되어 방호울타리와의 접촉시간이 작은 충돌거동을 보인 후 이탈하는 결과를 보였다.

표 6. 레일 강성에 따른 충돌 전·후 방호울타리

구분	Test A	Test B
충돌 전 방호울타리		
충돌 후 방호울타리		
최대 변형거리	77cm	21cm

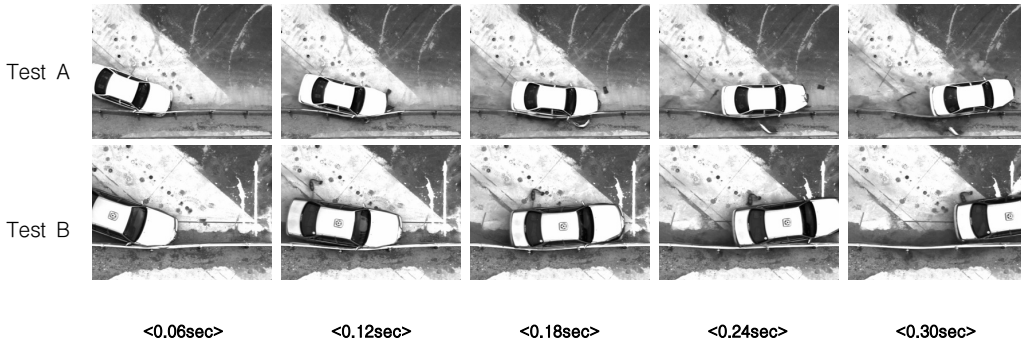


그림 4. 레일 강성에 따른 충돌거동

표 7의 탑승자 안전지수 결과를 보면, 지주의 강성에 따른 결과와 마찬가지로, 레일의 강성이 커질수록 THIV의 값은 높아지는 반면 PHD의 값은 낮아지는 결과를 보인다. 그림 5는 차량의 진행방향 속도가 100km/h에서 점차 감소되는 형상을 보이고 있으며, 약 0.1초에서부터 레일의 강성이 클수록 차량의 감속이 작다는 것을 알 수 있다.

표 7. 레일 강성에 따른 탑승자 안전지수

Test No.	탑승자 안전지수			
	THIV (km/h) (33 km/h 이하일 것)		PHD (g's) (20g 이하일 것)	
Test A	26.5	0.1279	15.2	0.1484
Test B	26.8	0.1036	9.6	0.1892

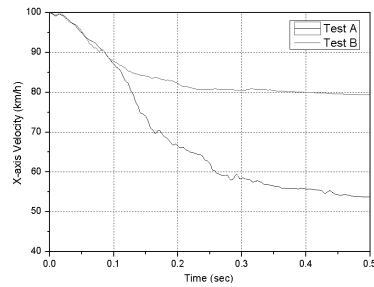


그림 5. 레일 강성에 따른 차량의 속도

4. 결 론

노측용 차량방호울타리의 지주와 레일의 강성에 따른 충돌차량과 방호울타리의 충돌거동을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지주와 레일의 강성이 커질수록 방호울타리의 변형거리는 작아지고, 충돌차량의 방향선회가 빠르고 방호울타리와의 접촉시간이 짧아지므로 충돌차량의 이탈속도가 커지는 것으로 나타났다.
2. 지주와 레일의 강성이 커질수록 THIV의 값은 커지는 반면, PHD의 값은 작아지는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 국토해양부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-차량방호 안전시설 편, 2001. 7
2. 국토해양부, 차량방호 안전시설 실물차량 충돌시험 업무편람, 2008. 12