

차량방호안전시설 성능평가기준 및 시험데이터 분석에 관한 고찰

이창석* · 김창현* · 석주식* · 강병도*

Consideration on the Performance Evaluation Criteria & Test Data Analysis for the Roadside Safety Facilities

Changseok Lee*, Changhyun Kim*, Jusik Suk*, Byungdo Kang*

Key Words : Roadside Safety Facilities(차량방호안전시설), THIV(탑승자충돌속도), PHD(탑승자가속도), Safety Barrier(방호울타리), Crash Cushion(충격흡수시설), Post Lateral Resistance(지주 지지력)

ABSTRACT

To verify the performance of roadside safety facilities, strength and occupant protection test are performed by evaluation criteria. Strength test use a truck and occupant protection test use a sedan. Strength performance is analyzed pass rate by post lateral resistance of the safety barrier. Occupant protection performance is analyzed from THIV(Theoretical Head Impact Velocity) and PHD(Post-impact Head Deceleration) by crash cushion test.

1. 서론

2013년 교통사고 중 차량단독사고는 전체 교통사고 215,354건 중 10,964건(5.1%) 발생하였고 사망자수는 전체 5,092명 중 1,228명(24.1%)으로 나타났다. 차량단독사고는 발생건수 대비 사망비율이 11.2%로 차대차(1.24%), 차대사람(3.92%)보다 치사율이 매우 높은 것으로 나타났다.⁽¹⁾ 차량 충격, 전복, 추락 등 사고의 도로환경요인을 최소화하기 위한 차량방호안전시설의 안전성 강화가 지속적으로 이루어지고 있으며 2010년 인천대교 버스추락사고와 2011년 서울 내부순환도로 추락사고 등으로 사회적 관심도 커지게 되었다. 이에 국토교통부에서는 도로안전성 강화를 위해 ‘도로안전시설 설치 및 관리지침-차량방호안전시설편(‘12.11) (‘14.02)’을 개정하면서 노측용 방호울타리 시험기준을 평지부에서 경사면(1:1.5)으로 강화시켰다. 이에 따라 노측용 방호울타리의 실물충돌시험이 현실화되었고 지

주의 수평지지력시험도 신설되어 시험장과 설치 현장과의 설치조건을 비교할 수 있도록 하였다.^(2,3) 교통안전공단 자동차안전연구원에서는 매년 약 80회이상 차량방호안전시설 성능시험을 수행하여 차량단독사고 시 자동차의 충격량을 흡수하여 탑승자 생명과 2차충돌사고를 예방해주는 차량방호안전시설의 성능향상을 위해 노력하고 있다. 본 논문에서는 노측용 방호울타리 성능기준이 강화되면서 합격률이 낮아진 이유를 알아보기 위해 신설된 지주의 수평지지력에 따른 합격률을 비교하고 충격흡수시설 CC2등급 시험에서 불합격이 높은 1/4 offset 충돌시험 데이터를 분석하여 연구자원이 부족한 차량방호안전시설 업체들이 합격률을 높일 수 있도록 유도하고자 한다.

2. 차량방호안전시설 성능평가기준

차량방호안전시설이란 도로에서 차량의 이탈이나 정면충돌 등과 같은 치명적인 교통사고의 피해를 줄이기 위해 설치하는 노측용 방호울타리, 중앙분리대용 방호울타리, 교량용 방호울타리, 단부처리시설, 전이구간,

* 교통안전공단 자동차안전연구원
E-mail : lcs0119@ts2020.kr



Fig. 1 강성방호울타리



Fig. 2 연성방호울타리

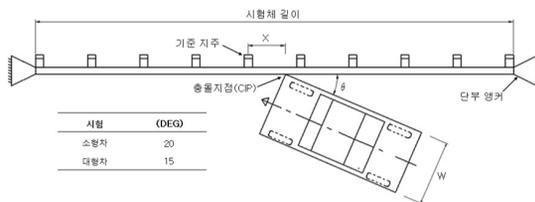


Fig. 3 방호울타리 충돌지점

Table 1 Safety barrier crash test condition

Level	Occupant Risk			Structural		
	mass (kg)	velocity (km/h)	degree (°)	mass (kg)	velocity (km/h)	degree (°)
SB1	900 1,300	60	20	8,000	55	15
SB2		80			65	
SB3		100			80	
SB3-B		120			85	
SB4		80		65	14,000	
SB5		100		80		
SB5-B		120		85		
SB6	100			25,000	85	
SB7				36,000		

충격흡수시설, 트럭탈부착형 충격흡수시설(TMA) 등을 말한다.⁽³⁾

2.1 시험조건

2.1.1 방호울타리

차량 방호울타리는 Fig. 1과 Fig. 2와 같은 구조물로 주행 중 정상적인 주행 경로를 벗어난 차량이 길 밖 등으로 이탈하는 것을 방지하는 것이며, 동시에 탑승자의 상해 및 차량의 파손을 최소한도로 줄이고 차량을 정상 진행방향으로 복귀시키는 것을 주목적으로 한다. 방호울타리의 종류는 설치 위치 및 기능에 따라 노측용, 중앙분리대용, 교량용으로 나누며, 시설물의 강도에 따라 연성방호울타리와 강성 방호울타리로 구분된다.

차량방호울타리의 충돌지점은 Fig. 3과 같이 소형차 실험의 경우, 지주간격의 1/4~1/2지점, 대형차 실험의 경우 파단이 우려되는 보의 접합부위로 부터 지주간격의 1/4~1/2 지점을 설정한다. 차량방호울타리의 충돌 시험조건은 Table 1과 같이 탑승자보호성능(승용)과 강도성능(트럭)으로 나뉘며 총 9개의 등급시험으로 이루어져있다.

2.1.2 충격흡수시설

충격흡수시설은 Fig. 4에 나타난 시설물이며 주행차로를 벗어난 차량이 도로상의 구조물 등과 충돌하기전 차량의 충격에너지를 흡수하여 정지토록 하거나, 차량의 방향을 교정하여 본래 주행차로로 복귀시켜주는 기능을 한다. 충격흡수시설의 충돌위치와 시험조건은 Fig. 5 및 Table 2와 같다.



Fig. 4 충격흡수시설

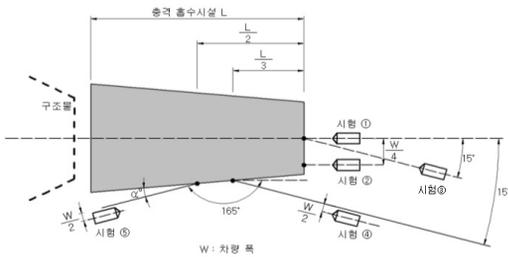


Fig. 5 충격흡수시설 충돌위치

Table 2 Crash cushion crash test condition

Level	velocity (km/h)	mass (kg)	impact condition
CC1	60	900	Frontal
		1,300	Side 15°
CC2	80	900 1,300	Frontal
CC3	100		1/4 Offset
CC4	120		Frontal 15°
			Side 165°

2.2 성능평가기준

실물 차량 충돌시험 후 방호울타리의 성능은 구조 성능, 탑승자 보호 성능, 충돌 후 차량의 거동 등의 3 가지 항목에 대해 평가한다.

2.2.1 구조성능

차량의 이탈 방지를 위한 시설의 강도 성능의 만족 여부의 확인은 대형트럭을 이용한 시험에서 방호울타리의 부재나 결합 부위의 파손 등으로 차량이 방호울타리를 돌파하지 않는 것을 확인한다.

연성 방호울타리에 과도한 변형이 발생했을 경우 차량이 도로에서 밀려져 나와 밖으로 떨어지거나 보도로 침범할 우려가 있기 때문에 허용할 수 있는 최대 충돌변형거리를 규정한다.

최대충돌변형거리란 차량이 방호울타리와 충돌할 때 차량의 충돌로 인해 방호울타리면이 원위치로부터 바깥 방향으로 밀려나온 거리(차도와 직각방향) 중 최대값을 말한다. 노측용 방호울타리의 경우는 최대 충돌변형거리가 지주를 흡수에 매입한 경우 1.0m 이하 이어야 한다. 또한 방호울타리와 차량의 충돌 시 방호울타리의 구성 부재가 도로 상이나 도로 밖으로 비산하여 탑승자나 제3자에게 피해를 주는 일이 없음을 확인하여야 한다. 개별중량 2kg 이상의 비산물이 충돌시

힘품의 앞쪽에서 2m 이상 비산하지 않아야 한다.

2.2.2 탑승자보호성능

탑승자보호성능은 승용시험으로 등급별 시험조건에서 탑승자머리충돌속도(THIV)와 탑승자머리가속도(PHD)를 계산하여 Table 3의 기준에 따라 평가한다.

THIV(Theoretical Head Impact Velocity)는 충돌 후 탑승자머리가 차량의 충돌속도로 자유 비행한다고 가정하여, 차량이 시설물과 충돌하여 감속되는 동안 머리가 자유 비행하여 차량 내부공간의 가상 면에 부딪칠 때의 차량과 이상화된 탑승자 머리의 순간 상대속도를 말한다.

PHD(Post-impact Head Deceleration)는 탑승자가 차량 내부공간의 가상 면에 부딪힌 후 접촉을 유지하여 차량의 가속도를 그대로 받게 된다고 가정하고 THIV가 계산된 이후 계산된 차량의 10msec 평균가속도의 최대치를 말한다.

ASI(Acceleration Severity Index)는 차량 x, y, z 각 방향 50ms 평균가속도의 각 한계가속도에 대한 비의 합을 나타내는 수치로 평가에 관계없이 기록하고 있다.

2.2.3 충돌 후 차량 거동

차량이 방호울타리에 충돌했을 때, 충돌 차량의 거동이 후속차량에 미치는 영향은 충돌 차량과 후속 차량과의 차간 거리나 회피할 수 있는 측방 여유의 유무 등에 따라 다르다. 이때 충돌 차량이 방호울타리와 충돌하여 급정지하거나, 진도되어 차도 안에 정지하지 않아야 하며, 또한 대향차나 병행하여 주행하는 차량에 큰 영향을 미치는 거동도 일어나지 않도록 다음을 만족해야 한다.

- 승용차 충돌 후 차량의 Roll 및 Pitch의 최대 회전각은 75°이하
- 트럭 충돌의 경우 충돌중이나 충돌 후에 차량의 전도가 없어야 함

Table 3 Occupants safety evaluation criteria

	Unit	Criteria
THIV	km/h	33(side) 44(frontal)
PHD	g (9.8m/s ²)	20
ASI	-	1.00 (reference)

Table 4 Post lateral resistance test results

	lateral force (ton)	pass/fail	remark
case1	3.09	fail	maximum deformation
case2	2.84	fail	maximum deformation
case3	2.08	pass	
case4	2.47	pass	
case5	2.24	pass	
case6	3.41	fail	maximum deformation
case7	3.69	fail	rollover
case8	2.48	pass	
case9	3.32	pass	
case10	3.52	fail	sudden stop
case11	3.46	pass	
case12	3.89	fail	rollover
case13	4.63	fail	
case14	3.56	fail	
case15	3.16	fail	rollover
case16	3.25	pass	
case17	3.96	fail	sudden stop

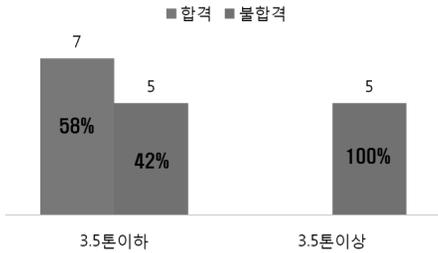


Fig. 6 지지력에 따른 노측용 방호울타리 합격률



Fig. 7 합격과 불합격제품 평균지지력(ton)

3. 시험결과

3.1 노측용 방호울타리 지지력에 따른 합격률

노측용 방호울타리는 2013년 기존 평지부시험에서

경사면(1:1.5)시험으로 개정되었고 현재까지 17건 시험을 실시하였고 7건이 시험에 합격하여 41.2%의 합격률을 보이고 있다. 동일한 기간에 시험을 진행한 교량용과 중앙분리대용 방호울타리보다 합격률이 많이 낮게 나타났다. 이처럼 노측용 방호울타리 시험에서 불합격이 되는 요소는 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 지주의 수평지지력에 따라 합격과 불합격에 어떤 영향을 미치는지 알아본다. Fig.6과 같이 지지력 기준을 3.5톤으로 정하고 합격률을 비교하였다. 기존 평지부 시험에서 지지력을 측정해보았을 때 3.5 ton이 나와 기준으로 정하였다. 3.5 ton이하로 측정된 제품들은 17건 중 12건으로 70.6%를 차지하였고 이 중 7건 합격하여 합격률이 58%로 전체합격률(41.7%)보다 높음을 확인할 수 있다. 또한 지지력이 3.5톤 초과된 제품은 17건 중 5건이었으며 대부분 차량 전복과 앞바퀴축이 지주와 충돌하여 분리되는 현상(snagging)을 보이며 급정지하는 현상을 나타내며 구조성능기준에 불만족하였다. 이러한 현상은 강한지지력으로 인해 트럭차량이 충돌 후 지주가 밀리지 않고 꺾이면서 시험품의 높이를 낮추는 효과로 인해 차량 승월현상 나타났기 때문으로 사료된다. 또한 Fig. 7과 같이 합격제품의 평균지지력이 불합격제품보다 약 0.82 ton 낮음을 알 수 있었다.

3.2 충격흡수시설 시험데이터 분석

탑승자보호성능시험에서 합격률에 영향을 주는 요소는 탑승자충돌속도(THIV)와 탑승자가속도(PHD)이다. 가속도센서 3개와 각속도센서 3개를 차량중심점에 장착하여 충돌 후 가속도와 각속도를 측정하여 THIV와 PHD, ASI를 계산한다.

충격흡수시설 성능시험 중 불합격이 가장 많이 나타나는 CC2등급 정면1/4오프셋 충돌시험을 Table 5와 같은 시험조건으로 진행하여 Table 6과 같이 시험결과를 얻었다. 두 제품은 충돌 후 접히는 구간이 4군데로 동일하다.

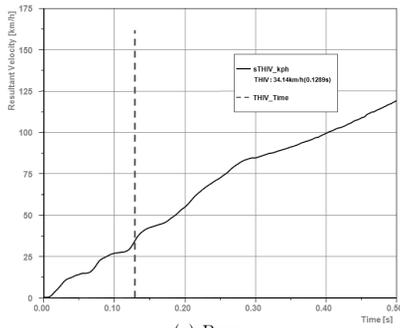
Table 5 Crash cushion test condition

Level	velocity (km/h)	mass (kg)	impact condition
CC2	80	900	1/4 offset

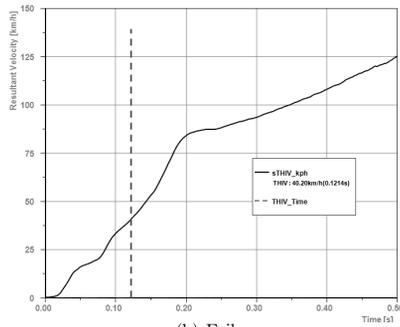
Table 6 Test results

	THIV(km/h)	PHD(g)	ASI
pass	34.14	15.2	0.89
fail	40.20	21.13	1.48

차량방호안전시설 성능평가기준 및 시험데이터 분석에 관한 고찰

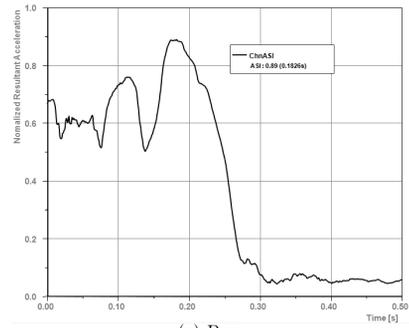


(a) Pass

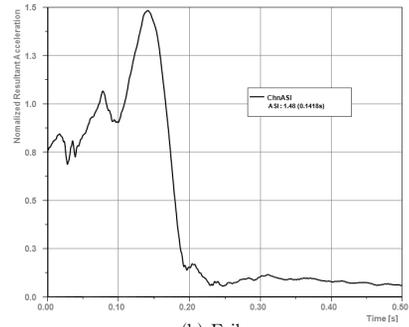


(b) Fail

Fig. 8 THIV 결과 그래프

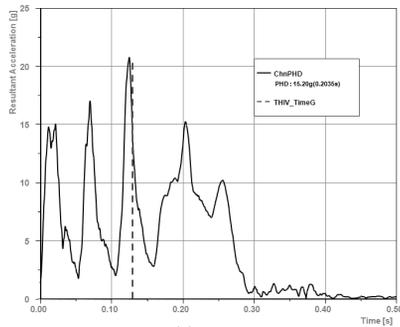


(a) Pass

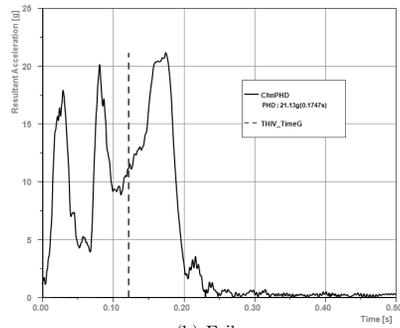


(b) Fail

Fig. 10 ASI 결과 그래프



(a) Pass



(b) Fail

Fig. 9 PHD 결과 그래프

Fig. 8은 THIV 결과그래프이다. 점선은 충돌 후 탑승자 머리가 가상의 충돌면에 부딪친 시간, 실선은 THIV값을 나타낸다. 두 선이 교차하는 지점이 탑승자 충돌속도가 된다. 그래프를 통해 합격제품(a)과 불합격제품(b)는 기준을 만족하였지만 합격제품에 비하여 불합격제품이 그래프 기울기가 커 결과값이 높게 나타났다.

Fig. 9는 PHD 결과그래프이다. 점선은 충돌 후 탑승자 머리가 가상의 충돌면에 부딪친 시간, 실선은 PHD값을 나타낸다. 두 선이 교차하는 지점 이후 최대 가속도가 PHD값이다. 합격제품(a)는 15.2g로 기준을 만족하였지만 불합격제품(b)는 21.13g로 기준을 만족하지 못하였다. 그래프를 통해 충돌 후 시설물이 충격 에너지를 흡수하여 안정화되는 구간이 합격제품은 길었고 불합격제품은 짧았다. 불합격제품은 시설물의 3번째 접히는 구간에서 적절하게 접히지 않아 충격 에너지를 흡수하지 못하였기 때문으로 사료된다.

Fig. 10은 ASI 결과그래프이며 합격제품(a)는 0.89로 위험도(1.00기준)가 낮았고, 불합격제품(b)는 1.48로 위험도가 다소 높음을 알 수 있다. 그래프를 통해 불합격제품의 그래프 기울기가 높으며 구간 또한 짧음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 강화된 노측용 방호울타리 성능기준으로 합격률이 낮아진 이유를 지주의 수평지지력으로 비교하였고 충격흡수시설 CC2등급에서 불합격이 높은 정면1/4움셋 충돌시험 데이터를 분석하였고 연구결론을 다음과 같이 요약하였다.

- 1) 지지력이 3.5ton이상일 경우 구조성능시험에서 지주가 꺾여 차량이 승월하여 차량 전복과 급정지되므로 방호울타리 업체들이 제품설치 시 지반을 강하게 다지지 않도록 유도할 것이다.
- 2) 현재 17건의 노측용 방호울타리 시험을 계속적으로 진행하여 보다 많은 시험결과로 지지력 외에 제품특성을 같이 비교할 것이다.
- 3) 충격흡수시설 시험데이터를 분석하면서 기준만족

을 위해서는 충돌 후 시설물이 적절히 접하며 충격에너지를 흡수하여 안정화되는 구간길이를 늘려야함을 알 수 있었고 연구자원이 없거나 부족한 업체들이 합격률을 높일 수 있도록 유도할 것이다.

- 4) 본 논문에서 한 가지 조건에서 두개의 시험데이터로 비교하였지만 향후에 시험을 더 진행하여 다양한 조건에서 시험데이터를 비교하고자 한다.

참고문헌

- (1) 경찰청, 2014, “교통사고 통계”
- (2) 국토교통부, 2014, “도로안전시설 서치 및 관리지침-차량방호안전시설편”.
- (3) 국토교통부, 2013, “차량방호안전시설 실물충돌시험 업무편람”