

교량난간의 안전성 평가에 관한 연구

Safety Performance Evaluation of Bridge Rail Systems

김 성 욱* 신 영 식**
Kim, Seong-Uk Shin, Young-Shik

ABSTRACT

In this study, a new bridge rail system is proposed to prevent large vehicles from running off the bridge edge. The crush model has accounted for the effects of both curbs and bridge rails which are simulated by Highway Vehicle Object Simulation Model(HVOSM) and BARRIER VII. Vehicle sizes ranged from minicars weighing 1800kg to large vehicles weighing 14000kg, and impact angles ranged from 15° to 25°.

1. 서 론

지난 10년간 (1985~1994) 도로교통사고로 인한 사상자수는 총 300만명으로 6.25전쟁 기간중의 사상자수인 99만명의 무려 3배가 된다는 사실만 보아도 도로상에서 발생하는 교통사고의 심각성을 잘 알 수 있다.^[1] 1994년 한해동안에만 인명피해를 입은 교통사고가 266,107건이 발생했으며 이로 인해 10,087명이 사망하고 350,892명이 부상을 당했다. 다시 말하면 1994년 우리 나라에서 인명피해를 수반한 교통사고는 하루평균 729건이 발생하여 28명이 사망하고 961명이 부상을 당한 셈이다. 지난해 교량 난간과 관련된 교통사고로 전국에서 73명이 사망하고 312명이 부상을 당했다. 특히 교량에서의 교통사고는 치사율이 31%에 달하는 매우 치명적인 결과를 초래하고 있다. 사고 피해의 대부분은 사고이후 충돌, 추락 등 2차 사고로 인한 인명피해가 극심하게 발생되었으나, 기존 콘크리트나 알루미늄으로 만들어진 교량 난간은 소형차의 방호에는 어느 정도 효과가 있으나 대형차의 경우에는 충분한 안전을 확보하는데 어려움이 있는 것으로 나타났다. 차량의 추락사고를 예방함으로써 사상자를 줄이기 위한 방법은 구조적으로 안정한 교량난간을 설치하는 일이다. 콘크리트 방호벽과 같은 교량난간을 설치하면 방호벽의 강성이 우수하고 추락을 방지하는 탁월한 능력 때문에 추락사고는 현저히 줄어들 것이다. 그러나 콘크리트 방호벽과 같은 강성 교량난간은 주행 차량의 조망권을 해치고 운전자에게 답답함과 함께 폐쇄 공포감을 줄 우려가 있으며 충격에너지를 흡수해 충돌차량 탑승객의 신체를 보호하는 능력이 미흡하기 때문에 교통사고시 더 심각한 피해를 줄 수 있다. 따라서 큰 에너지를 가진 차량의 충돌시 교량난간은 충돌차량의 추락을 방지하고 차량의 충돌 진입각도를 완화시켜 충돌 후 원래 차선으로부터의 이탈각도를 줄임으로써 2차 사고를 예방하는 동시에 충돌차량을 원래의 차선으로 복원 시켜주어야 한다. 콘크리트 방호벽을 제외한 기존의 철제나 알루미늄 방호책은 충돌차량의 추락사고를 예방하는 방어력이 떨어지는 것으로 나타나 새로운 기술의 철재방호책이 요구되고 있다.

* 영남대학교 토목공학과 석사과정

** 영남대학교 토목공학과 교수

2. 교량난간의 설계기준

NCHRP^[2]에서는 표 1과 같이 도로안전구조물의 충돌시험에 대한 정형화된 가이드라인과 그 시험결과를 평가하기 위해 밀착가속도의 한계를 제시하고 있고, TRB Circular 191^[3]에는 충돌 후 차량의 질량 중심에서 측정된 0.05초 동안의 차량의 횡방향, 종방향 평균 최대 가속도를 이용하여 탑승자의 위험도를 평가하고 있다. 국내의 설계기준은 표 3과 같이 도로안전시설 설치 편람^[4]의 연성방호벽 설계기준을 적용하였다.

표 1. NCHRP Report 350에 의한 밀착가속도 한계

탑승자 밀착가속도(G's)		
	설계기준	위험상한치
종방향	15	20
횡방향	15	20

표 2. TRB Circular 191 제안 차량의 50ms 평균 최대 가속도

	횡방향 가속도(G's)	종방향 가속도(G's)	합계
설계기준	3	5	6
위험상한치	5	10	12

표 3. 국내의 연성방호벽 설치기준

구 분	종 별	적용도로의 종류	설계조건					지반조건	
			충돌속도 (<i>km/h</i>)	중량 (<i>t</i>)	충돌각도 (<i>deg</i>)	가속도 (<i>g</i>)	흙	콘크리트	
							최대변형량(<i>m</i>)		
노 측 용	A	고속도로 자동차전용도로	60	14 및 3.5	15	4 이하	1.1 이하	0.3 이하	
	B	주요한 일반국도 주요한 지방도	40						
	C	기타도로	35						
	S	도로의 종류에 관계없이 철도 등과 교차 또는 인접된 도로구간	80						

3. 교량난간의 파괴 메카니즘

소성파괴 메카니즘(Plastic failure mechanism)을 이용하여 난간 전체의 극한강도를 계산하는데 여기서는 소성 힌지(Hinge)가 최대모멘트지점에 형성되고 파괴 시에는 “메카니즘”을 이룰 만큼 충분한 수의 소성 힌지가 생성된다고 본다. 여기에는 안전율을 고려하지는 않는데 안전율은 난간의 무게로 인한 관성, 강(Steel)의 연성(Ductility)와 인성(Toughness)에 의해서 고려된다고 볼 수 있다. 그림 1은 1-Span 파괴 메카니즘, 2-Span 파괴 메카니즘 및 3-Span 파괴 메카니즘을 나타내고 있으며, 더 많은 Span을 포함하는 파괴 메카니즘도 가능하다.

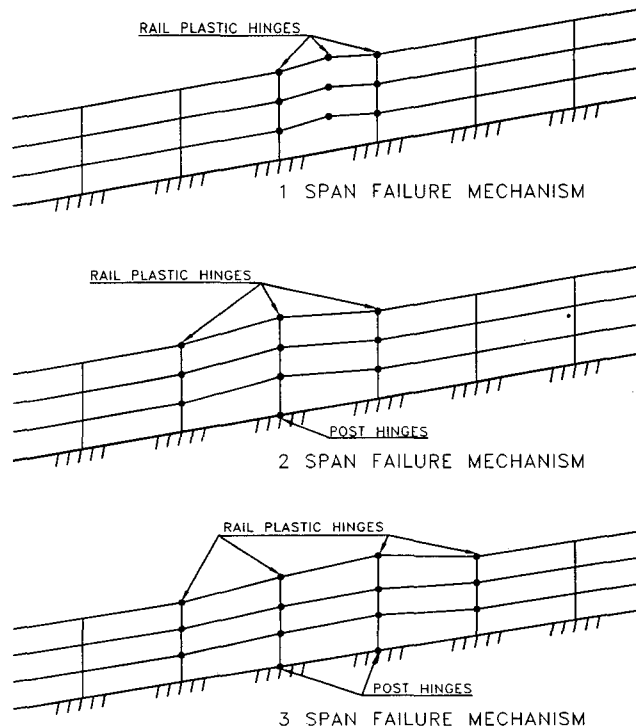
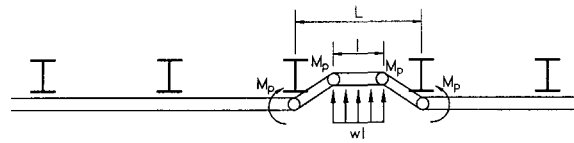


그림 1. 교량난간의 파괴 메카니즘

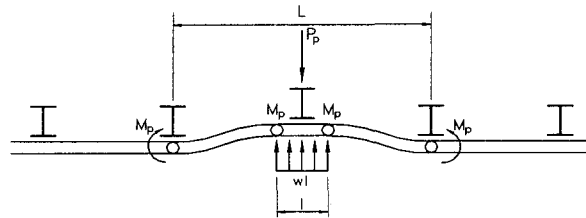
이들 메카니즘에서 난간요소는 그림 2와 같이 보로 볼 수 있는데 각 난간 보요소의 파괴시 하중은 다음과 같다.

$$W = wl = \frac{8M_p}{(L - l/2)}$$

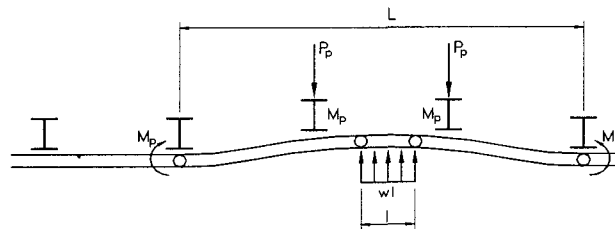
여기서, W 는 전체하중, M_p 는 난간요소의 소성모멘트, L 은 파괴 메카니즘의 전체 Span 길이, l 은 재하하중이 작용하는 폭, P_p 는 교량의 극한강도, w 는 분포하중을 각각 나타낸다.



(a) 1-Span Failure Modes



(b) 2-Span Failure Modes



(c) 3-Span Failure Modes

그림 2. 난간(보요소)의 파괴 모드

4. 컴퓨터 시뮬레이션 조건

4.1 해석 조건

차량과 교량난간의 충돌에 있어서 차량은 난간과 충돌하기 전에 보도의 연석과 먼저 충돌하게 되는데 이로 인해서 차량의 충돌각과 충돌속도는 처음의 값과 달라지게 된다. 그러므로 연석부는 차량의 거동에 큰 영향을 미치게 되는데 본 연구에서는 연석부를 강성방호책과 같이 생각하여 강성방호책 해석 프로그램인 HVOSM^[5]을 사용하여 연석부와 차량의 충돌 후 거동에 대해 해석한 후에 연성방호책 해석프로그램인 BARRIER VII^[6]을 사용하여 난간의 안전성과 사용성에 대해서 검토하고자 한다. 사용차량은 차량중량 1800kg과 14000kg을 사용하였으며, 충돌각은 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 충돌속도는 60km/h~100km/h로 하여 해석을 수행하였다.

4.2 차체의 회전 운동

1) Pitching

차체에 평행한 차량종방향의 돌기를 지나칠 경우 먼저 전륜이 올라가고 다음에 후륜이 올라간다. 이처럼 전륜과 후륜이 역방향으로 운동할 때 그림 3에 나타난 Y축을 중심으로 차체가 아래위로 진동을 하는 것을 pitching이라 한다.

2) Rolling

노면요철에 대해 좌우륜이 한쪽만 있거나 좌우반대로 있거나 했을 경우 그림 3에 나타난 X축을 중심으로 차체의 좌우로 진동을 하는 것을 rolling이라 한다.

3) Yawing

그림 3에 나타난 Z축을 중심으로 회전운동을 하는 고유진동인 yawing은 핸들조작에 의해 발생하는 운동으로 주기적인 핸들조작외에 충격적인 핸들조작이나 손을 뗀 핸들조작시에 발생한다. 연직방향각(Yaw)은 차량이 방호책과 충돌한 후의 거동을 파악하는데 적합하고, 초기 차량의 충돌각과 충돌후 이탈각을 나타낸다.

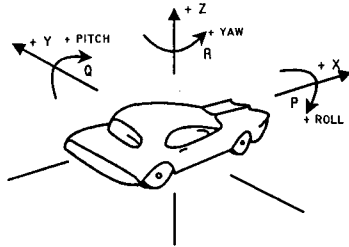


그림 3. 차량의 부호 규약

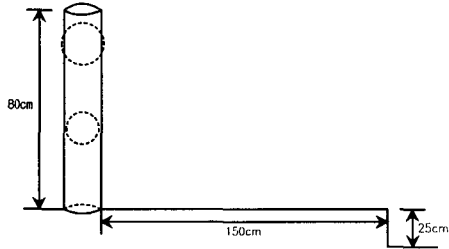


그림 4. 연석부 해석 모델

5. 난간의 해석모델

교량난간의 안전성은 두가지 측면으로 평가를 하게 되는데 차량의 안정성(vehicular stability)와 운전자 안전성(impact severity)측면이다. 여기서는 가속도 평가와 난간의 처짐량을 가지고 두 가지 측면을 평가하기로 한다. 차량은 일반적인 경우에 난간과의 충돌에 앞서 보도의 연석부와 먼저 충돌함으로 연석을 콘크리트 방호벽으로 가정하여 강성방호벽 해석 프로그램인 HVOSM으로 1차 충돌을 해석하고 BARRIER VII으로 차량과 난간의 2차 충돌을 해석하기로 한다. Type I, Type II는 현재 보편적으로 시공되고 있는 난간으로 이를 대상으로 해석을 수행하였으며 Type III는 본 연구에서 제안하고자 하는 대형차량 방호용 고규격 난간으로 그 형상은 다음과 같다

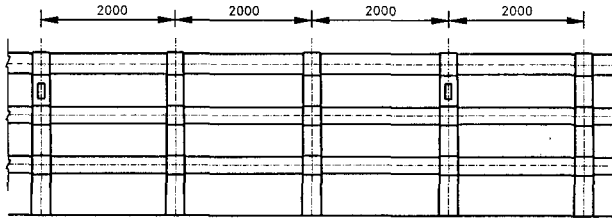
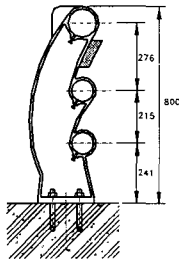


그림 5. 난간 형상(Type I)

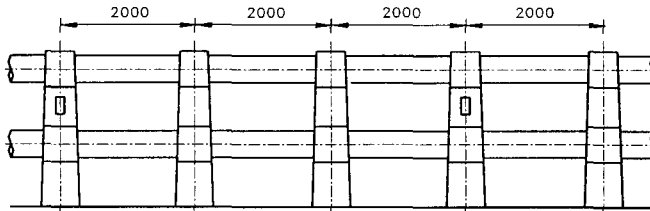
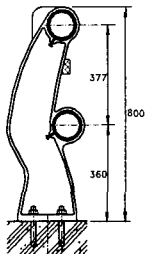


그림 6. 난간 형상(Type II)

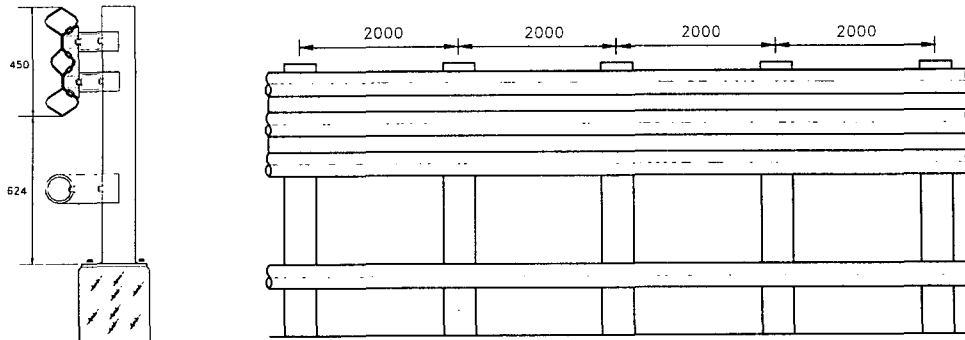


그림 7. 난간 형상(Type III)

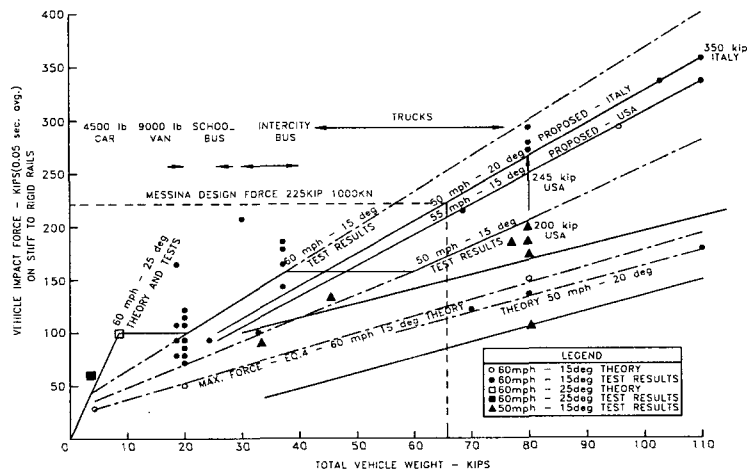


그림 8. 차량 중량별, 충돌조건별 충격력

6. 전산해석 결과 및 고찰

6.1 Type I 과 Type II의 안전성 평가

Type I, Type II의 소형차에 대한 운전자 안전도는 10ms와 50ms 가속도로 평가하였는데 다음의 그림과 같이 설

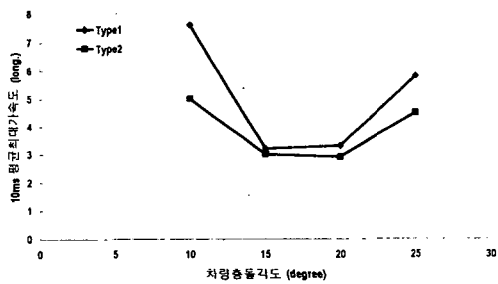


그림 9. 종방향 10ms 평균 최대가속도 비교

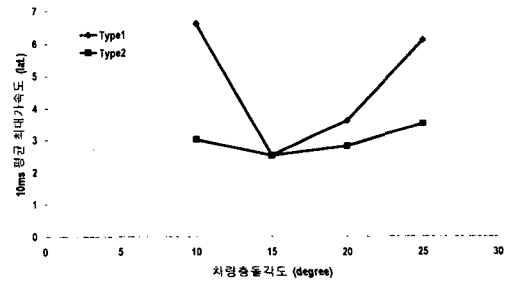


그림 10. 횡방향 10ms 평균 최대가속도 비교

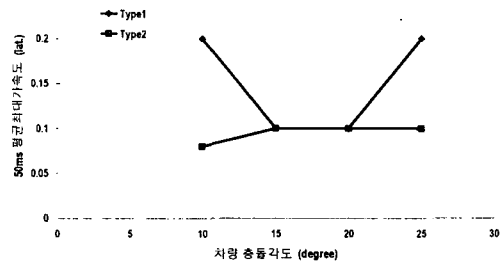
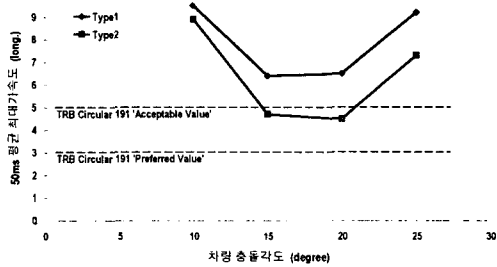


그림 11. 종방향 50ms 평균 최대가속도 비교

그림 12. 횡방향 50ms 평균 최대가속도 비교

계기준을 만족하는 것을 알 수 있으며, 충돌각의 증가에 따라 가속도가 증가하지 않는 이유는 연석부와 차량의 충돌시 충돌각이 10°와 25°에서 크게 변화되기 때문이다. 차량의 안정성을 나타내는 난간의 처짐량은 소형차와의 충돌실험에서는 Type II의 충돌조건 100km/h-25°를 제외한 나머지는 현재의 규정을 만족하고 있으나 대형차와의 충돌에서는 기준치를 훨씬 초과하는 것으로 나타났다.

표 4. 소형차와 충돌시 난간의 처짐량(단위 : cm)

	60km/h		80km/h		100km/h	
	Type I	Type II	Type I	Type II	Type I	Type II
10°	0.7	4.7	8.9	25.3	-	-
15°	3.4	13.6	3.8	14.5	3.3	12.3
20°	1.5	8.1	4.2	15.1	8.1	22.1
25°	4.3	14.5	7.0	25.4	6.1	37.3

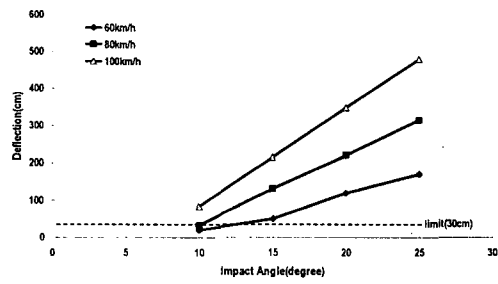
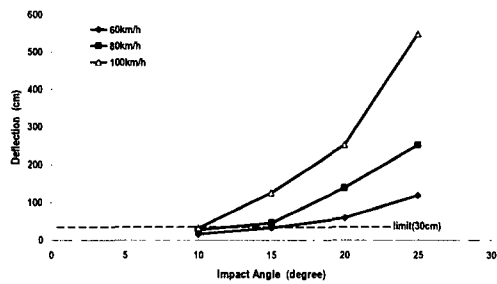


그림 13. 14t 차량 충돌시 난간의 처짐량(Type I)

그림 14. 14t 차량 충돌시 난간의 처짐량(Type II)

6.2 Type III의 안전성 평가

본 연구에서 제안하고자 하는 고규격 난간인 Type III의 경우에는 다음의 14t 차량과의 충돌 결과에서 보여주듯이 안전도를 평가하는 가속도 비교에서 Type I, Type II보다 안전한 것으로 나타났으며, 난간의 처짐량은 30cm~78cm로 국내의 설치기준인 30cm(콘크리트 지반)를 만족하지는 못하나 난간의 강성이 너무 높을 경우 운전자의 안전성이 떨어지는 것을 감안한다면 대형차의 방호에 효과적일 것으로 생각된다.

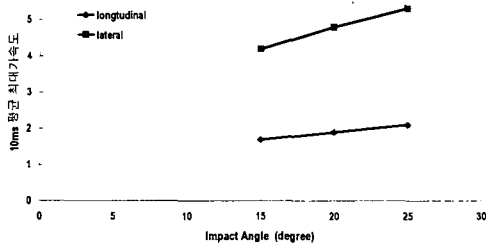


그림 15. 10ms 평균 최대가속도 비교

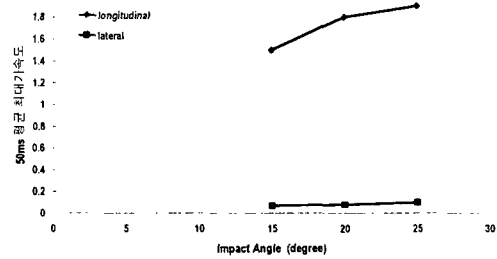


그림 16. 50ms 평균 최대가속도 비교

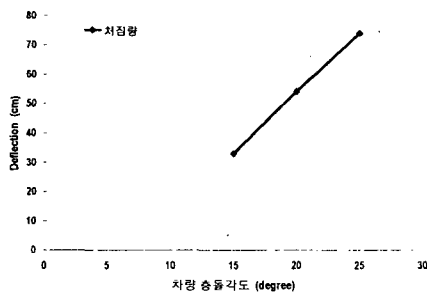


그림 17. 14t 차량 충돌시 난간의 처짐량(Type III)

7. 결 론

본 연구에서는 현재 주로 많이 사용중인 교량난간의 안전성을 검토하고 대형차를 방호하기 위한 새로운 난간 형태를 제안하였다. 이를 위해 차량 충돌시 방호책의 동력학적 거동을 HVOSM, BARRIER VII 프로그램으로 해석하였는 바, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 현재 시공되고있는 난간의 경우 소형차의 방호에는 효과적일 수 있으나 대형차의 경우에는 교량 아래로 추락하는 것으로 해석되어 이에 대한 보강이 필요하다.
2. 기존의 난간보다 보강된 Type III에 경우에는 vehicular stability와 impact severity측면을 모두 만족하는 것으로 차량이 난간을 뚫고 추락하는 대형사고를 막을 수 있을 것으로 판단된다.
3. 본 연구는 컴퓨터 모의실험이라는 제한된 방법을 통하여 수행된 것으로 도로안전구조물의 경우 실물충돌 실험에 의한 기능평가와 현장운용을 통한 분석이 수반되어야 할 것으로 판단되며 향후 차량의 난간충돌 시 교량상판에 미치는 영향에 관한 연구가 필요하다 하겠다.

8. 참고 문헌

1. 윤 태양, 황 민호, 이 준호, "충격완화형 철제 교량 난간", 포항산업과학연구원 (1999)
2. "Recommended Procedures for Vehicle Crash Testing of Highway Appurtenances", Transportation Research Circular 191 Transportation Research Board (1978)
3. H.E. Ross, Jr. and D.L. Sicking, "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features", NCHRP350 (1993)
4. 건설교통부, 「도로안전시설 설치편람」 (1989)
5. David J. Segal, 「the Highway Vehicle Object Simulation Model manual」 (1976)
6. Graham H. Powell, 「Computer Evaluation of Automobile Barrier System」 (1970)