강재-FRP 합성 교량용 방호울타리 개발

Development of Steel-FRP Composite Bridge Safety Barrier

김승억(Seung-Eock Kim) 이사 | 세종대학교 건설환경공학과 | 교수 | hsji@mail.daewon.ac.kr
권기영(Ki-Young Kwon) 학생회원 | 세종대학교 건설환경공학과 석사과정 | kky840822@gmail.com

1. 서론

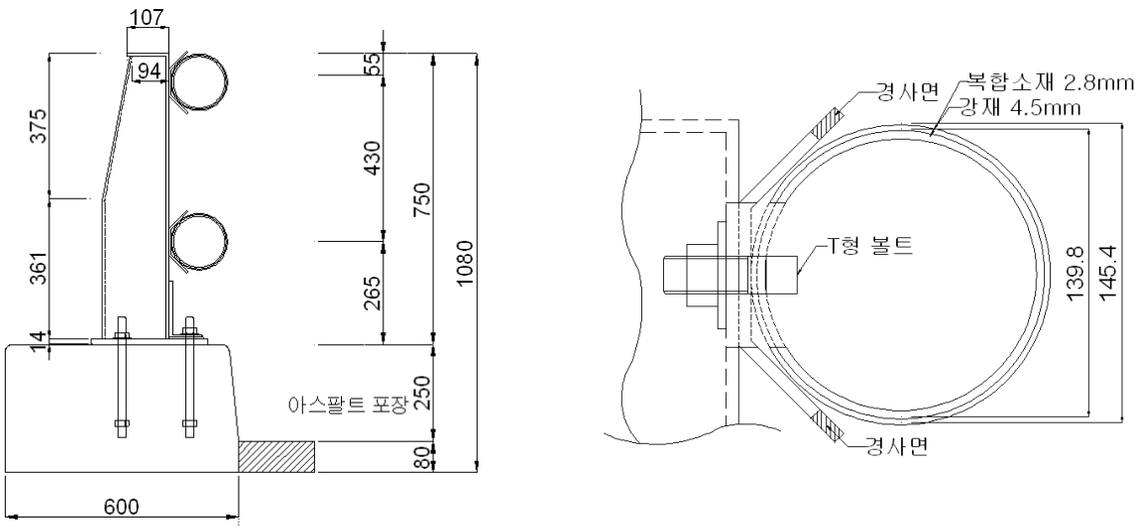
교량의 방호울타리는 대형차량 충돌 시 추락을 방지할 수 있는 강도와 소형차량 충돌 시 충격 흡수 능력을 모두 갖추어야 한다. 콘크리트 방호울타리의 경우 강도가 우수하여 대형차량 충돌 시 차량추락을 방지할 수 있으나 소형차량 충돌 시 충격 흡수 능력이 부족하여 인명 피해가 발생할 수 있다. 알루미늄 방호울타리의 경우에는 충격 흡수 능력은 우수하나 강도가 부족하여 차량추락에 의한 인명 피해가 발생할 수 있다.

따라서 콘크리트 방호울타리와 알루미늄 방호울타리의 장점만을 살린 교량 방호울타리 시스템의 개발이 필요하다. 강재-FRP 합성 교량용 방호울타리의 강도는 강재와 비슷하여 대형차량의 추락을 방지할 수 있고, 강성은 강재보다 낮아 소형차량 충돌 시 강재 방호울타리보다 충격 흡수 능력이 뛰어나다.

2. 강재-FRP 합성 교량용 방호울타리 제원 및 설치 전경

강재-FRP 합성 교량용 방호울타리는 현재 일반도로 및 고속도로에서 널리 적용 가능한 SB4등급을 선정하였다. 방호울타리는 지주, 리브 및 베이스 플레이트, 상단 빔, 하단 빔, 앵커볼트, 콘크리트 연석으로 구성되어 있다. 지주의 높이는 750mm, 콘크리트 연석의 높이는 250mm로 되어있다. 지주, 리브 및 베이스 플레이트는 용접 구조용 강재인 SM400을 사용하였으며 두께는 각각 6mm, 12mm, 14mm이다.

교량용 방호울타리 제원 및 강재-FRP 합성 빔의 단면을 그림 1에 나타내었다. 강재-FRP 합성 빔은 강재 4.5mm, FRP 2.8mm로 구성되어 있다. 강재는 구조용 강재인 SS400을 사용하였고, FRP는 유리섬유 및 폴리에스테르 수지로 제작하였다. 강재-FRP 합성 교량용 방호울타리의 설치 전경을 그림 2에 나타내었다.



(a) 교량용 방호울타리 제원 (b) 강재-FRP 합성 빔 단면

그림 1. 교량용 방호울타리 제원 및 강재-FRP 합성 빔 단면

(a) 방호울타리 전면 (b) 방호울타리 후면

그림 2. 강재-FRP 합성 교량용 방호울타리 설치 전경

3. 성능 평가 기준

차량 방호울타리를 개발하여 현장에 적용하기 위해서는 2008년 건설교통부 발행 “차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람”에 제시된 기준인 표 1을 만족하여야 한다.

표 1. 실차충돌시험 조건

		구조적강도성능	탑승자보호성능
충돌조건	차량중량(kg)	14,000	1,300
	충돌속도(km/h)	65	80
	충돌각도(°)	15	20
합격기준	충돌후속도(km/h)	충돌속도의 60% 이상	충돌속도의 60% 이상
	충돌후각도(°)	충돌각도의 60% 이하	충돌각도의 60% 이하
	최대변형(m)	0.3m 이하	
	THIV(km/h)		33km/h 이하
	PHD(g)		20g 이하

4. 비선형 비탄성 충돌 시뮬레이션

4.1 강재-FRP 합성 교량용 방호울타리 모델링

충돌 후 차량의 진행을 고려하여 교량용 방호울타리를 길이 30m로 모델링하였으며, 이는 실제 충돌 시험 시 교량용 방호울타리 설치 길이와 동일하다. 또한, 지주 간격을 실제 충돌 시험과 동일한 2m로 모델링하였다. 사용 요소 수는 총 172,640개다. 도로는 강체로 모델링하였고, 차량이 충분히 거동할 수 있는 연장을 가지기 위해 길이 33m, 폭 15m 로 모델링하였다.

강재-FRP 합성 교량용 방호울타리의 시뮬레이션 구조형상은 그림 3과 같다.

차량 모델링에 있어서는 미국의 NCAC(National Crash Analysis Center)가 제공하는 1.3톤의 승용차(Dodge Neon)모델과 16톤 트럭(CME-HGV truck)모델을 사용하였다. 승용차는 31,355개의 요소로 이루어졌고 트럭은 33,297개의 요소로 이루어졌다. 트럭의 경우 제공된 모델의 중량이 16톤으로 “차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람”의 충돌 차량 기준인 14톤과 일치시키기 위하여 짐칸의 집중질량을 2톤 감소시켰다. 3차원 차량 모델은 그림 4와 같다.

도로와 차량바퀴의 접촉조건은 LS-DYNA의 라이브러리에서 제공하고 있는 RIGIDWALL-PLANAR 옵션을 사용하였다. 방호울타리의 콘크리트 연석과 도로사이의 경계조건은 LS-DYNA에서 제공하는 BOUNDARY-SPC 옵션을 사용하여 콘크리트 연석 바닥의 변위 및 회전에 대하여 구속하였다. 차량이 방호울타리에 충돌 시 차량과 방호울타리의 마찰계수는 LS-DYNA에서 제공하는 AUTO-SURFACE-TO-SURFACE 옵션을 사용하여 표 2와 같이 적용하였다.

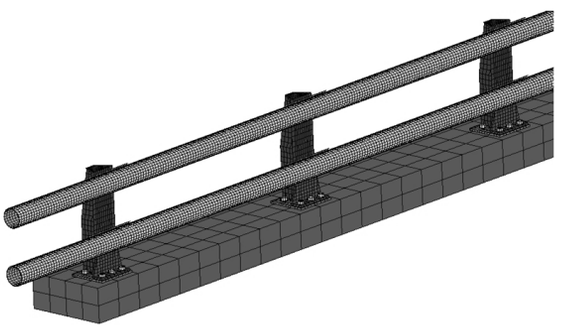
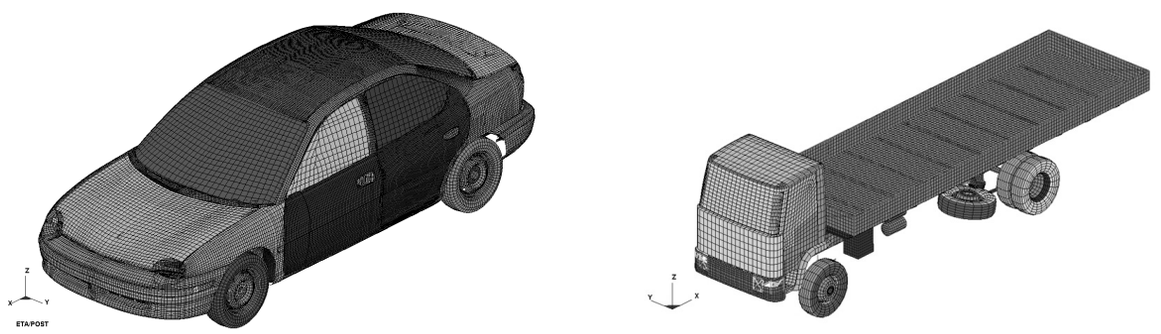


그림 3. 강재-FRP 합성 교량용 방호울타리 시뮬레이션 구조형상

표 2. 차량과 방호울타리 마찰계수

구분	승용차		트럭	
	정지마찰계수	운동마찰계수	정지마찰계수	운동마찰계수
강재-FRP 합성 방호울타리	0.2	0.1	0.2	0.16



(a) 승용차 (b) 트럭

그림 4. 3차원 차량 모델

도로에 대한 바퀴의 마찰계수는 주행방향은 주행 중 마찰계수인 0.01을 적용하였고(Engineering Dynamics Corporation, 1994), 주행수직방향은 고무와 아스팔트의 마찰계수인 0.25를 적용하였다.(Eugene A, 2006) 이를 그림 5에 나타내었다.

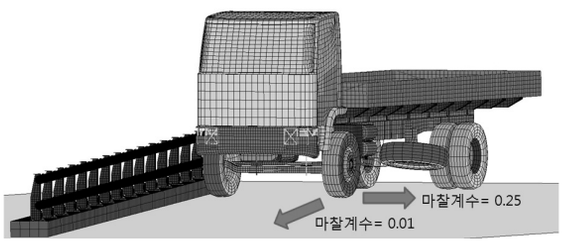


그림 5. 도로와 차량차체 접촉조건

4.2 충돌조건

충돌조건은 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람(2008)에 준하여 충돌속도, 충돌각도, 충돌지점을 고려하였다. 충돌속도는 대상 시설의 시험기준에 따라, SB4등급의 구조적 강도성능 평가를 위한 시험인 경우에는 트럭의 속도로 65km/h를 적용하였다. 또한, 탑승자 보호성능 평가를 위한 시험인 경우에는 승용차의 속도로 80km/h를 적용하였다. 충돌각도는 구조적 강도성능 평가시험에는 15°, 탑승자 보호성능 평가시험에는 20°를 적용하였다.

4.3 해석 결과 분석

방호울타리는 구조적 강도성능, 탑승자 보호성능, 충돌 후 차량의 안전 성능기준을 만족해야 한다. 구조적 강도성능은 트럭을 대상으로 평가하였다. 충돌 후 빔의 최대변형은 0.107m로써 성능기준인 최대변형 0.3m 이하를 만족하였다. 충돌 후 이탈속도는 충돌속도의 60% 이상인 88% (57.5km/h)로써 만족하였다. 이탈각도는 충돌각도의 60% 이하인 37% (5.5°)로써 만족하였다. 트럭의 충돌모습을 그림 6에 나타내었다.

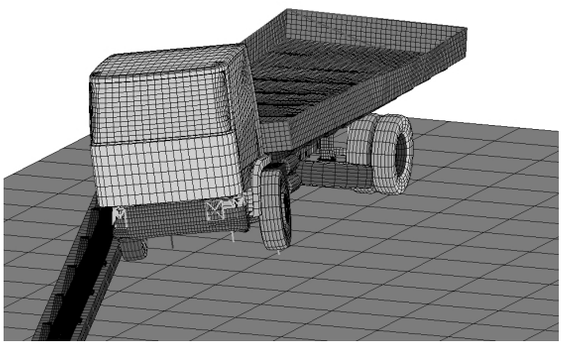


그림 6. 트럭 충돌

탑승자 보호성능은 승용차를 대상으로 THIV 29.7km/hr, PHD 9.45g로 측정되어 탑승자 보호성능 기준치 THIV 33km/hr 이하, PHD 20g 이하를 만족하였다. 충돌 후 이탈속도는 충돌속도의 60% 이상인 89% (71.2km/h)로써 만족하였다. 이탈각도는 충돌각도의 60% 이하인 57% (11.4°)로써 만족하였다. 승용차의 충돌모습을 그림 7에 나타내었다.

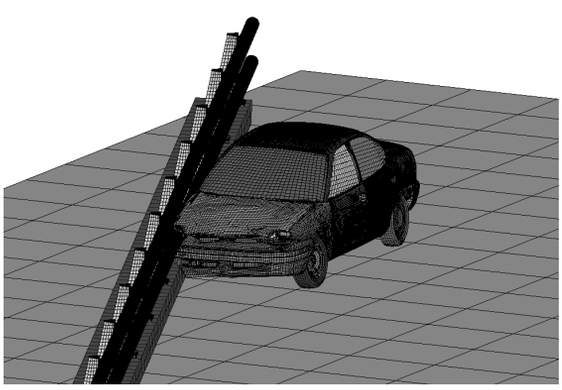


그림 7. 승용차 충돌

5. 실차충돌시험

구조적 강도성능은 트럭을 대상으로 평가하였다. 충돌 후 빔의 최대변형은 0.091m로써 성능기준인 최대변형 0.3m 이하를 만족하였다. 충돌 후 이탈속도는 충돌속도의 60% 이상인 66.2% (44km/h)로 측정되어서 만족하였다. 이탈각도는 충돌각도의 60%

이하인 0% (0°)로 측정되어서 만족하였다. 트럭의 실차충돌시험 모습을 그림 8에 나타내었다.

그림 8. 트럭 실차충돌시험

탑승자 보호성능은 승용차를 대상으로 THIV 29.8km/hr, PHD 6.5g로 측정되어 탑승자 보호성능 기준치 THIV 33km/hr 이하, PHD 20g 이하를 만족하였다. 충돌 후 이탈속도는 충돌속도의 60% 이상인 64.7% (52km/h)로 측정되어서 만족하였다. 이탈각도는 충돌각도의 60% 이하인 17% (3.4°)로 측정되어서 만족하였다. 승용차의 실차충돌시험 모습을 그림 9에 나타내었다.

그림 9. 승용차 실차충돌시험

6. 결론

강재-FRP 합성 방호울타리는 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람에 따른 방호울타리의 모든 성능평가 기준을 만족하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 강재-FRP 합성 방호울타리는 파괴가 일어나지 않았다. 최대변형이 0.091m 발생하여 구조적 강도 성능 기준에서 제시된 최대변형 0.3m 이하를 만족하였다.

둘째, 강재-FRP 합성 방호울타리는 THIV 29.8km/hr, PHD 6.5g로 측정되어 탑승자 보호성능 기준에서 제시된 기준치 THIV 33km/hr 이하, PHD 20g 이하를 만족하였다.

셋째, 충돌 후 차량의 거동은 승용차 및 트럭에 대해서 각각 성능평가 기준을 만족하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 국토해양기술연구개발사업(한국건설교통기술평가원 건설기술혁신사업)의 연구비지원(과제번호 기술혁신B01)을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

건설교통부 (2008) 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람.