

국내 콘크리트 방호벽의 등급 고찰

Test Level of Domestic Concrete Barrier

전 세 진* 최 명 성** 김 영 진***

Jeon, Se Jin Choi, Myoung Sung Kim, Young Jin

ABSTRACT

According to a domestic provision, test levels of the barrier are divided into seven categories (SB1 to SB7) and the corresponding crash conditions are specified. Meanwhile, standard types of concrete barriers with different dimensions have been constructed nation wide. Some studies aimed at finding a proper test level of each type of the concrete barrier have been carried out, but the reliable and consistent results have not been fully established yet. The purpose of this study is to find out the test level corresponding to the concrete barrier of type-2 through static test. AASHTO LRFD was referred to for the loading pattern and a magnitude of the load that simulate a vehicle crash assumed. The test results show that the ultimate strength of the type-2 satisfies the load level required for SB5. However, it seems that the type-2 does not comply with SB6, showing some differences in results from previous analytical studies. In order to take advantage of the static test in establishing the test level of the domestic barrier, more detailed provisions should be specified.

요 약

국내 건설교통부 규정에서는 방호울타리(방호벽 및 중앙분리대)의 등급을 SB1~SB7로 나누고 각 등급이 수용해야 할 충돌차량의 중량, 속도 및 각도를 명시하고 있다. 한편, 국내의 콘크리트 방호울타리에는 제원에 따라 형식-1, 형식-2 등의 한국도로공사 표준도들이 널리 사용되고 있다. 각 방호울타리 형식에 대응되는 등급을 규명하기 위한 해석 및 실험적 연구가 수행되어져 왔으나, 아직까지 명확한 기준이 확립되었다고 보기는 어렵다. 이 연구에서는 대표적으로 방호벽 형식-2에 해당하는 등급을 정적 실험을 통하여 규명해 보고자 하였다. 정적 실험시의 재하 형태와 등급 판정기준이 되는 충돌하중은 국내의 각 등급과 유사하게 대응되는 AASHTO LRFD의 시험 등급을 참조하였다. 실험 결과에 의하면 형식-2는 SB5 등급을 만족하고 있는 반면 SB6 등급에 대한 만족여부는 다소 명확치 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기존의 해석적인 연구와 차이가 있으므로 추가적인 연구를 요하는 사항이다. 방호벽의 성능 및 해당등급을 평가하기 위한 기존의 차량충돌실험 및 해석에 부가하여, 비교적 정밀한 거동 예측이 가능하고 극한 상태까지 재하 할 수 있는 정적 실험을 통한 평가를 위해서는 국내 기준의 각 등급별로 충돌하중 및 재하방법을 구체적으로 명시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

*정회원 · 대우건설기술연구원 토목연구팀 책임연구원

**정회원 · 대우건설기술연구원 토목연구팀 전임연구원

***정회원 · 대우건설기술연구원 토목연구팀 수석연구원

1. 서 론

방호울타리(방호벽 및 중앙분리대)는 주행 중 차량의 이탈을 방지하고 탑승자의 상해나 차량 파손을 최소화하는 등의 다양한 기능을 수행해야 한다. 국내 건설교통부 규정¹⁾에서는 방호울타리의 등급을 SB1~SB7로 나누고 각 등급이 수용해야 할 충돌차량의 중량, 속도 및 각도를 명시하고 있다. 그 중 강성 콘크리트 방호울타리는 차량 충돌 시 부재 변형이 최소화되어 차량 복귀 및 이탈 방지 측면에서 가요성 철제 방호울타리보다 우수한 성능을 보유하고 있어, 교량이나 고가 구간 뿐 아니라 일반 구간에도 다수 시공되고 있다. 국내에서는 콘크리트 방호울타리의 제원에 따라 형식-1, 형식-2 등의 한국도로공사 표준도들이 사용되고 있다. 각 방호울타리 형식에 대응되는 등급을 규명하기 위하여 실물차량 충돌 실험 및 해석, 펜듈럼(pendulum) 실험, 정적 실험, 항복선 이론에 의한 검토 등 다양한 연구가 수행되어져 왔으나, 아직까지 명확한 기준이 확립되었다고 보기는 어렵다. 이 연구에서는 대표적으로 방호벽 표준도 형식-2에 해당하는 등급을 정적 실험을 통하여 규명해 보고자 하였다. 이 과정에서 해외 기준을 적용하여 간접적으로 국내 방호벽 등급을 평가하는 방안에 대해서도 고찰해 보았다.

2. 콘크리트 방호벽의 정적 실험

방호벽 형식-2는 높이가 1,270 mm이고 두께는 230~420 mm이다. 이러한 방호벽의 등급을 규명하기 위해 그림 1과 같이 총 2기의 실험대형 실험체를 제작하여 정적 실험을 실시하였다. 실제 상황을 최대한 재현하기 위해 실험체는 방호벽, 바닥판 및 거더를 모사하는 부위로 구성하였다. 예비해석을 통해 차량 충돌 시 방호벽이 평면상의 휨 및 적절한 항복선 형성을 통해 저항할 수 있도록 실험체의 교축방향 길이는 6 m로 정하였다²⁾.

방호벽의 성능 검증에 사용되는 실험 및 해석방법들은 각각의 장단점들이 있지만, 그 중에서도 정적 실험은 구조실험동 내에서 각종 계측기들을 통해 다양하고 정밀한 거동 계측이 가능하고, 또한 액츄에이터로 극한 상태까지 재하 할 수 있어 한 번의 실험으로도 해당 방호벽의 최대 등급을 파악할 수 있다는 장점이 있다.

국내 규정¹⁾에는 이러한 정적 실험 시 참조할 수 있는 재하 형태와 기준 되는 충돌하중이 명시되어 있지 않으므로, AASHTO LRFD³⁾의 시험 등급(TL: Test Level) 규정을 참조하였다. 즉, 기존 사례를 참조하여 검토대상을 SB5 및 SB6으로 정하고 표 1 및 그림 2와 같이 이들과 유사성이 있는 AASHTO 규정을 참조하여 실험에 반영하였다. 차량 중량에 유사성이 있을 경우 차량 제원도 유사할 것이라 판단하여 SB5 검토 시에는 TL-4, SB6 검토 시에는 TL-5의 재하길이를 참조하여 재하하였다.



그림 1 방호벽의 정적 실험

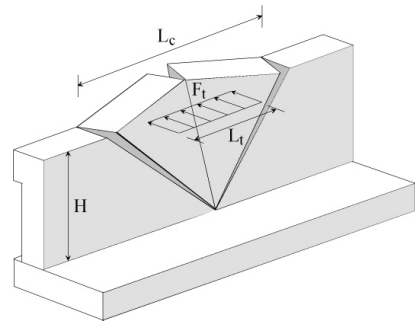


그림 2 방호벽의 재하형태 및 항복선

표 1 방호울타리 등급에 따른 조건

등급	차량 중량 (kN)	충돌속도 (km/hr)	충돌각도 (°)	수평력, F_t (kN)	재하길이, L_t (mm)	최소재하높이, H_e (mm)	방호벽최소높이, H (mm)	비 고
TL-4	80	80	15	240	1,070	810	810	AASHTO
TL-5	355			550	2,440	1,070	1,070	LRFD ³⁾
SB5	140			-	-	-	-	건설교통부 ¹⁾
SB6	250			-	-	-	-	

3. 실험 결과 및 방호벽의 등급

그림 3은 각 방호벽 실험체의 하중단계별 균열발생 형태를 보여주고 있으며, 극한 하중은 TL-4 재하의 경우 330 kN, TL-5 재하의 경우 360 kN이었다.

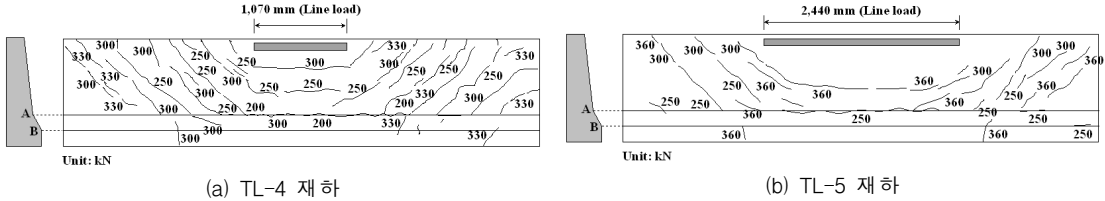


그림 3 방호벽의 균열발생 형태

이러한 극한 하중을 표 1의 등급별 수평력과 비교해보면, 방호벽 형식-2는 TL-4에 대한 저항 능력을 보유하고 있는 반면 TL-5에는 미치지 못하고 있다. 하지만, 이 실험에서는 표 1에서 요구하는 최소재하높이보다 더 높은 위치인 방호벽 상단에 재하하였으므로 재하높이를 최소재하높이 수준으로 낮추었다면 방호벽의 내력이 좀 더 증가했을 여지는 있다.

한편, 이러한 실험 결과를 가지고 국내 등급에 따른 평가를 시도해 보았다. SB5 및 SB6에 해당되는 기준 충돌하중, 즉, 수평력은 다음과 같은 절차를 거쳐 도출하였다. Olson⁴⁾이 제안한 식 (1)과 같은 차량 충돌하중 산정식에 따르면 차량 제원과 충돌속도 및 각도가 동일할 때 충돌하중($\max F_{lat}$)은 차량 중량에 비례한다. 그런데, TL-4 및 TL-5에서 B 값은 큰 차이가 없는 것으로 미루어, 여기에서 고려하는 등급들에서 충돌하중에 영향을 미치는 차량 제원의 변화가 크지 않다고 가정하면 TL-4 및 TL-5의 실험 결과로부터 SB5 및 SB6의 만족여부를 판정해 볼 수 있는 것으로 생각된다.

$$\max F_{lat} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{V_f^2 \sin^2 \theta}{2g [A \sin \theta - 0.5B(1 - \cos \theta) + D]} \right) W \quad (1)$$

여기에서, V_f : 충돌 전의 차량 속도, A : 차량 앞면으로부터 무게중심까지의 거리, B : 차량 폭, θ : 충돌 각도, D : 방호울타리의 횡방향 변위(콘크리트 방호벽의 경우 0으로 봄.), W : 차량 중량. 따라서 대략적으로 SB5급은 310 kN, SB6급은 430 kN의 충돌하중에 해당될 것으로 예상된다. 이 값들을 정적 실험의 극한 하중들과 비교해보면 방호벽 형식-2는 국내의 SB5 등급을 만족하고 있는 반면 SB6에 대한 만족여부는 다소 명확치 않은 것으로 판단된다.

한편, 기존 국내 연구⁵⁾에서는 식 (1)과 같은 Olson 모델에 AASHTO HS 20-44 표준트럭 제원을 일괄 적용하되 차량 중량만 등급에 따라 바꾸어가며 충돌하중을 구하고, 이를 AASHTO LRFD의 항복선 이론(그림 2)에 따라 구한 내력과 비교한 바 있다. 여기에서 형식-1(높이 1,000 mm)은 TL-4에 대하여, 형식-2는 현 AASHTO 기준에는 없는 TL-5A에 대하여 저항 능력을 검토하였으며, 이 때 이 연구와 유사하게 재하조건에 있어 TL-4는 SB5에, TL-5A는 SB6에 대응된다고 가정하였다. 그 결과 형식-1은 SB5, 형식-2는 SB6의 충돌하중에 저항할 수 있다고 분석하였다. 그러나 그림 2와 같이 AASHTO에 제시된 항복선은 삼각형 모양으로 방호벽 전체 면에 형성되는 반면, 이 실험에 의하면 국내 방호벽의 파괴 모드는 그림 3과 같이 재하위치 하부의 단면이 꺾이는 부분에서 일정구간 수평방향의 항복선이 형성되어 전체적인 항복선 형상이 사다리꼴에 가까웠다. 이처럼 국내 방호벽 단면 형상의 특성상 실제 항복선은 AASHTO의 항복선과 차이가 있으므로 AASHTO에 제시된 수식으로 검토한 기존 연구는 오차가 클 것으로 생각된다. 좀 더 정밀한 이론적 평가를 위해서는 개선된 항복선 형

상 및 관련 수식⁶⁾을 참조함이 더욱 바람직하다. 또 다른 연구⁷⁾에서는 형식-1이 SB5를 만족함을 실험 차량 충돌 실험 및 전산구조해석으로 보였고, 또한 TL-4를 만족함을 정적 실험으로 확인하였다.

이러한 기존 연구들을 종합해 보면 형식-1이 SB5를 만족한다는 점은 어느 정도 신뢰성이 있다고 판단된다. 이 실험에서는 추가적으로 형식-2 또한 SB5를 만족함을 보였다. 하지만, 기존 연구에서 형식-2가 SB6에 해당한다고 본 것은 많은 가정이 포함된 이론적 검토 결과이며, 정적 실험에 의한 이 연구 결과에 따르면 다소 불확실성이 크다고 생각되므로 추가적인 연구를 요하는 사항이다. 이는 역으로 형식-2가 SB6 등급을 만족하기 위해서는 단면 두께 증가나 형상 개선 등의 조치가 필요할 수도 있음을 시사하고 있다.

하지만, 이 연구의 논의 중 상당 부분은 국내에는 없는 규정에 대해 부득이 유사한 외국 규정을 차용하고 또한 차량 제원 등에 대한 가정에 근거하여 분석한 결과이다. 따라서 추후의 바람직한 연구 방향은 AASHTO 규정과 같이 국내 관련 규정에도 국내 방호울타리의 등급에 따른 차량 제원을 명확히 함과 동시에 이에 근거한 합리적인 충돌하중 및 재하방법을 구체적으로 언급하는 것이다. 이를 통해 기존의 차량충돌에 대한 실험이나 해석에 부가하여 정적 실험을 통해서도 방호벽의 성능 및 해당등급을 비교적 정확히 평가할 수 있을 것이다. 국내 차량의 실정에 부합하는 재하방법은 방호벽의 내력을 항복선 이론에 의해 구할 경우에도 좀 더 신뢰성 있는 값을 산출하는 데 기여할 것이다.

4. 결 론

국내에서 시공되는 콘크리트 방호울타리 표준도들의 각 형식에 대응되는 시험 등급을 규명하기 위한 연구의 일환으로 이 연구에서는 대표적으로 방호벽 형식-2에 해당하는 등급을 정적 실험을 통하여 고찰해 보았다. 정적 실험시의 재하 형태와 등급 판정기준이 되는 충돌하중은 국내의 각 등급과 유사하게 대응되는 AASHTO LRFD의 시험 등급을 참조하였다. 실험 결과에 의하면 방호벽 형식-2는 SB5 등급을 만족하고 있는 반면 SB6 등급에 대한 만족여부는 다소 명확치 않은 것으로 나타났다.

방호벽 등급을 올바르게 파악하기 위해서 실험차량 충돌에 대한 실험이나 해석 외에 정적 실험을 실시하는 것도 나름대로의 특징점을 가지고 있으며, 이를 위해서는 우리나라 차량의 제원을 고려하여 국내 기준의 각 등급별로 충돌하중 및 재하방법을 구체적으로 명시하는 등 관련 규정의 정비가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도로안전시설 설치 및 관리 지침: 차량방호 안전시설 편”, 2001.
2. 전세진, 최명성, 김영진, 현병학, “프리캐스트 콘크리트 방호벽의 정적 실험 I. 극한거동 및 등급 고찰”, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제27권, 제6A호, 2007, pp. 891-899.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials, “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications”, 4th Ed., 2007.
4. Olson, R.M., Post, E.R. and McFarland, W.F. “Tentative Service Requirements for Bridge Rail Systems”, National Cooperative Highway Research Program(NCHRP) Report 86, Transportation Research Board, 1970.
5. 한국도로공사 설계처, “교량용 콘크리트 방호울타리 설계방법 검토”, 2002.
6. 전세진, 최명성, 김영진, “콘크리트 방호벽의 파괴 모드”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 한국콘크리트학회, 제19권, 제2호, 2007, pp. 329-332.
7. 한국도로공사 도로교통기술원, “강성방호벽이 설치된 교량바닥판 캔틸레버부 설계방안과 내구성 증진 연구”, 도로교통 ST-04-04, 2004.