

교량 바닥판의 콘크리트 난간에 대한 정적 실험

A Static Test of Concrete Barrier on Bridge Deck

강 준 욱* 이 재 훈** 우 광 성** 안 상 섭*** 이 일 근***
 Kang, Jun Wook Lee, Jae Hoon Woo, Kwang Sung Ahn, Sang Sub Lee, Il Gun

ABSTRACT

The current Korea bridge design specifications have no provisions about concrete Barrier. And there are no test results of registence strength of the concrete barrier at the vehicle collision sites. This paper reports experimental results of concrete barrier on bridge deck conctructed by standard drawing of SB5 grade. Eight specimens were tested under static test. The specimens are divided by two groups (D-series and B-series). D-series is to show failure pattern of bridge deck. B-series is to show failure pattern of concrete Barrier. The test results compared with calculation results using Yield-Line theory of AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.

1. 서론

교량난간은 차량이나 보행자가 교량밖으로 이탈하는 것을 방지하기위한 교량용 방호울타리의 일종으로서 강도를 기준으로 SB1~7까지의 등급으로, 강성에 따라 가요성 방호울타리와 강성 방호울타리로 구분한다. 현재 국내의 교량용 콘크리트 난간은 등급에 따라 표준도가 제시되어 있고, 시공되고 있다. 그러나 현재의 교량용 콘크리트 난간의 설계에 관하여 국내시방서에는 명확한 기준이 없으며, 난간의 저항능력 또한 검증되지 않았다. 난간의 합리적 설계는 바닥판 캔틸레버부의 경제적 설계와 연결되므로 명확한 설계근거와 기준이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 SB5등급의 강성 방호울타리에 해당하는 시험체의 정적 실험을 통하여 그 저항능력을 알아보고, 교량용 콘크리트 난간 설계의 합리적인 설계법을 제시하고자 한다. 실험결과는 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications의 설계기준과 비교, 분석하였다.

2. 실험개요

2.1 실험부재의 제작 및 변수

실험부재는 도로공사에서 제안한 표준도(SB5)를 모 델로하여 8개를 제작하였다. 교량바닥판의 캔틸레버부의 파괴거동을 알아보기 위한 D-series 시험체 4개와 충돌하중 작용시 발생하는 콘크리트 난간과 바닥판의 합성거동을 알아보기 위한 B-series 시험체 4개로 나누었으며, D-series와 B-series의 각 시험체별 난간과 바닥판의 크기와 철근상세는 동일하지만, B-series에서는 실제 교량의 연속된 난간과 바닥판 캔틸레버부를 나타내기 위해 난간의 양끝단을 구속하였다. 난간에는 $f_{ck} = 240kg/cm^2$, SD30,D13철근을 사용하였고, 바닥판 캔틸레버부는 $f_{ck} = 270kg/cm^2$, SD40,D16철근을 사용하였다. 다음표는 각시험체별 변수를 나타낸 것으로 ST-D(B)-1에서 ST-D(B)-4 로 분류하여 각각 제작하였다.

표 1 시험체 변수

구 분	바닥판 철근량	시 공 이 음	통신관로	비 고
ST-D(B)-1	SD40, D16@150mm	바닥판과방호벽 접합부	없음	
ST-D(B)-2	SD40, D16@150mm	방호벽처면제 절곡부 (바닥판에서 상부205mm)	없음	방호벽의 짧은수직철근 없음
ST-D(B)-3	SD40, D16@300mm (철근량50%감소)	바닥판과방호벽 접합부	없음	
ST-D(B)-4	SD40, D16@150mm	바닥판과방호벽 접합부	P.V.C. $\phi 100, \phi 150$	

* 정회원, 영남대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 영남대학교 토목공학과 부교수

*** 한국도로공사 건설교통기술원 연구원

2.2 실험방법 및 측정

본 연구에서는 교량난간의 충돌하중에 대한 저항능력을 알아보기 위해 정적하중을 난간에 가력하였다. 가력장치는 100tonf 유압잭을 사용하였고, 가력위치와 같은 높이에 가운데와 양쪽끝단에 변위계를 설치하였으며, 바닥판에는 철근 스트레인지지를 부착하였다. 가력위치는 바닥판에서 상부 1m 위치로 그림 1과 같으며 그림 2와 그림 3은 D-series와 B-series의 가력장비 거치모습이다. 실제 차량이 충돌할 때 차량과 난간에는 폭10cm, 길이107cm의 접촉면이 생기는데 실험에서는 난간에 같은크기의 강판을 부착하고 강판에 가력하여 난간에 등분포하중이 작용할수 있도록 하였다.

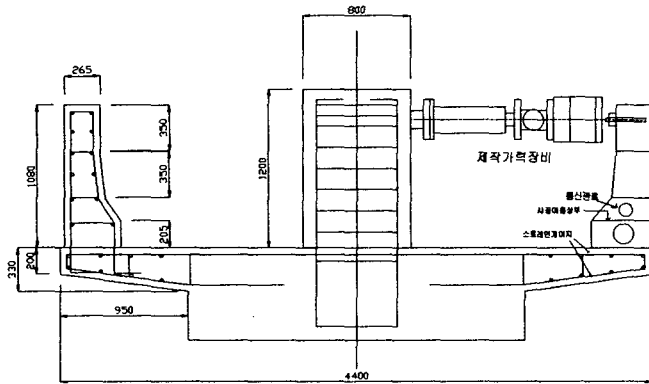


그림 1 시험체 도면



그림 2 D-series 가력장비거치



그림 3 B-series 가력장비거치

3. 실험 결과 및 분석

3.1 바닥판의 파괴거동 (D-series)

D-series는 바닥판의 파괴거동을 알아보기 위한 시험체로서 난간의 뒷면에 설치한 3개의 변위계를 통해 난간의 변위가 거의 없음을 알수있었다(표 2). 따라서 바닥판만의 파괴가 일어났다고 할 수 있으며, 그림 4에서는 하중-변위관계를 비교하여 나타내었다.

표 2 D-series 실험결과

시험체	중앙과의 변위차 (mm(%))	최초균열 하중 (tonf)	최대 하중 (tonf)	최대하중시 변위 (mm)
ST-D-1	0.33 (0.86)	17	44.48	38.56
ST-D-2	1.60 (14.8)	16	25.72	10.84
ST-D-3	0.04 (0.65)	10	16.73	6.230
ST-D-4	0.76 (2.10)	17	39.72	36.50

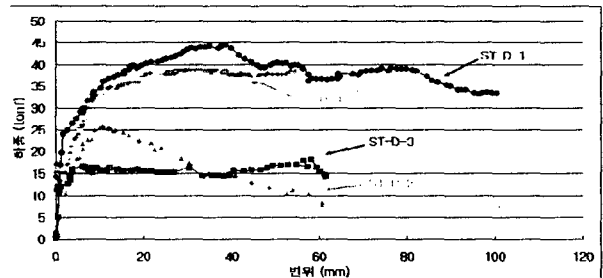
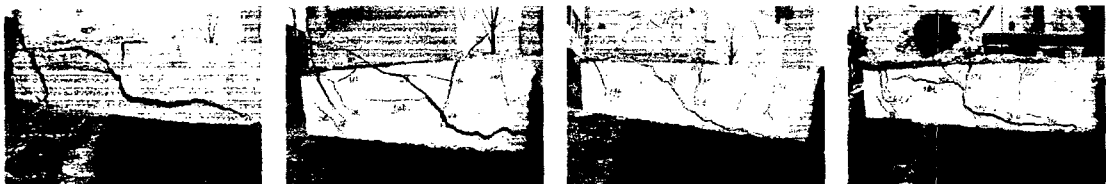


그림 4 하중-변위곡선



ST-D-1

ST-D-2

ST-D-3

ST-D-4

그림 5 균열양상

균열양상은 4개 시험체 모두 유사하나 시공이음을 상부로한 ST-D-2시험체의 경우 시공이음부까지 균열이 진행되었다. 표2와 그림4에서 알수있듯 ST-D-1과 4는 시험결과가 유사하고, ST-D-2의 경우 보조수직철근을 제거한 시험체로 하중이 ST-D-1,4에 비해 55~65%정도 떨어졌으며, 최대하중이후에 하중의 감소가 급격하게 일어났다. ST-D-3는 바닥판철근량이 다른시험체의 50%로 최대하중이 ST-D-1과4의 약40%정도로 떨어졌고, 철근의 항복이후 즉, 최대하중이후 하중의 증가없이 변위가 급격하게 커지는 양상을 보였다.

3.2 콘크리트 난간의 파괴거동 (B-series)

B-series는 그림3에서와 같이 시험체양끝단에 변형억제를 위한 부재를 설치하였으며, 가력방법이나 측정방법은 D-series와 동일하다. B-series에서는 난간의 파괴형태를 알아보기 위한 실험으로 AASHTO LRFD에서 소개하고 있는 Yeild Line의 형성여부와 이론의 적용여부에 대한 확인 또한 포함되어있다.

3.2.1 Yeild Line Theory

극한 상태에서 항복선의 형성에 기초를 두고 있으며, 파괴면을 따라서 소성힌지가 형성된다는 가정 하에 외력과 내력에 의해 행해진 일의 합은 영(zero)이 된다는 조건으로부터 강성방호벽의 저항하중(R_w)과 파괴구간 길이(L_c)를 구하는 것이며, 그림6은 예상파괴모드를 나타낸 것이다.

$$L_c = \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2}\right)^2 + \frac{8H(M_b + M_w H)}{M_c}}$$

$$R_w = \frac{2}{2L_c - L_t} (8M_b + 8M_w H + \frac{M_c L_c^2}{H})$$

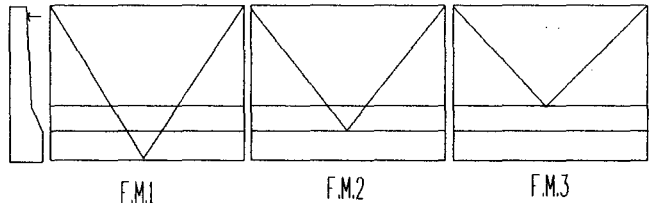


그림6 난간의 예상파괴모드

3.2.2 실험결과

이론에서와 같이 명확히 항복선을 정하기는 어렵지만 전체적으로 항복선을 이루고 있음을 그림8에서 확인할수 있으며 본실험에서는 파괴모드Ⅱ(FMⅡ)를 항복선으로 정하여 이론에 의한 계산과 실험결과와 비교하였다. 그림7은 하중-변위곡선을 나타낸 것으로 ST-B-3을 제외한 나머지 시험체는 유사한거동을 보여 D-series와 달리 2번시험체의 강도저하는 보이지않았다. ST-B-3의 하중-변위곡선은 난간 보다는 바닥판의 것이라고 할수있으며, 난간의 균열역시 다른 시험체에 비해 좁고 미세한 균열로 나타났다. 또한, 변위의 증가가 바닥판의 파괴로 인해 발생하여 바닥판의 항복이후 급격하게 나타났다.

표 3 결과비교

구 분	저항하중, R_w (tonf)		파괴길이, L_c (m)		인장력, T (tonf)	
	이론 (FMⅡ)	실험	이론 (FMⅡ)	실험	이론 (FMⅡ)	실험
ST-B-1	44.4	51.80	2.89	2.96	8.80	10.12
ST-B-2	38.7	51.00	3.28	3.16	7.27	9.64
ST-B-3	-	-	-	-	-	-
ST-B-4	44.4	49.34	2.89	2.88	8.80	9.79

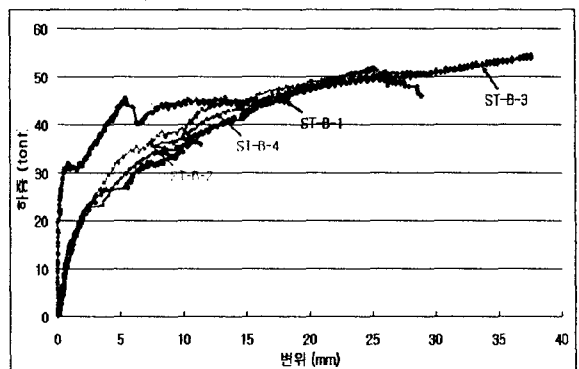


그림 7 하중-변위 곡선

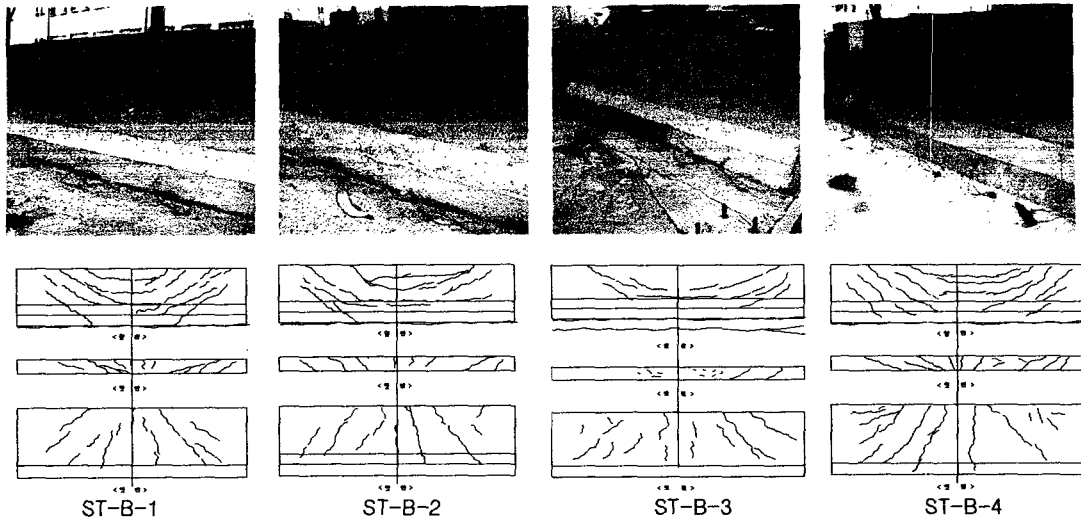


그림 8 B-series의 균열양상

실험과 이론에 의한 저항 하중이 다른 이유는 실험에서는 철근의 응력이 항복이후 변형경화공간까지 진행되어 재료실험에 의한 철근의 항복응력($f_y = 3700 \text{ kg/cm}^2$)보다 큰 응력까지 저항할 수 있었기 때문으로 사료되며, 파괴구간 길이는 이론에 의한 값과 거의 차이가 없었다.

4. 결론

교량용 철근콘크리트 난간의 저항능력과 바닥판 캔틸레버부의 거동을 알아보기 위한 연구, 실험결과와 비교 및 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 시공이음조정과 보조수직철근을 제거한 경우 이음부 균열에 의한 내구성 저하에 대한 개선을 목적으로 하였으나 타시험체와 균열양상이 거의 차이가 없었다. 보조수직철근은 ST-B-2의 시험결과와 같이 난간의 저항능력 증가에 도움이 되지 않았으며, 시공성 측면에서도 좋지 않은 것으로 판단된다.
- 2) 바닥판 철근량 50%감소의 경우 난간의 파괴에 앞서 바닥판의 파괴가 먼저 발생하였다. 차량충돌로 인한 보수가 필요한 경우 바닥판이 난간의 보수에 비해 경제적 손실이 크기 때문에 바닥판은 난간의 저항능력 이상의 강도를 가지도록 설계해야 할 것으로 판단된다.
- 3) 동진관로를 난간 내부에 설치한 경우 설치하지 않은 ST-B-1과 유사한 저항능력을 나타내었다.
- 4) 본 연구를 통해 현재 교량의 콘크리트난간의 설계에 있어서 현재 시행하고 있는 설계방식 외에 항복선이론의 적용을 통한 교량난간 및 바닥판의 설계방법이 보다 합리적인 방법임을 알 수 있었으며 좀 더 개선된 난간 및 바닥판 설계에 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 한국도로공사 도로교통기술원의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준(2003)
2. 김재일, "안전단면형 콘크리트 강성방호벽 설계를 위한 동적 비선형 해석", 영남대 대학원 석사학위 논문, 2003
3. 도로안전시설 설치 및 관리지침, 차량방호안전시설 편, 2001
4. AASHTO, LRFD Bridge Design Specification, 2002
5. Bridge Deck Designs For Railing Impacts, Texas Transportation Institute, 1985
6. NCHRP 350 Pendulum Test & Transition Connection Project, Texas Transportation Institute, 2002