

## 초간편 강합성 바닥판의 펀칭 전단에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on Punching Shear of Simplified Composite Deck

윤기용\* · 이승열\*\* · 이규세\*\*\* · 김상섭\*\*\*\*

Yoon, Ki Yong · Lee, Sung Yol · Yi, Gyu Sei · Kim, Sang Seup

#### Abstract

According to Korea Highway Bridge Design Code the bridge deck is designed by the strength design method and is regarded as a beam possessing the unit width based on the bending theory. By many researches it is revealed that the existing bridge deck is failed by punching shear. For evaluating the ultimate capacity of bridge deck it is important to estimate the behavior of bridge deck under the punching shear. For the punching strength it is difficult that the existing research results are applied to the simplified composite deck. In this study for comparing characteristics on punching shear the punching shear tests on simplified composite deck and RC deck are performed. The punching shear strength of simplified composite deck is compared with several bridge design codes.

**Key words** : bridge desks, steel composite decks, punching failure, punching shear strength

#### 요 지

현행 도로교설계기준의 바닥판에 대한 설계방법은 휨 이론에 따라 바닥판을 단위 폭의 보로 보고 강도설계법으로 설계하고 있다. 그러나 실제 교량 바닥판의 파괴 형태는 펀칭에 의한 파괴이므로 바닥판의 극한성능은 펀칭전단강도를 토대로 평가해야 할 것이다. 하지만 기존에 연구된 결과로는 초간편 강합성 바닥판의 펀칭전단강도를 산정하기 어려워 이에 대한 연구가 필요한 실정이다. 본 논문에서는 초간편 강합성 바닥판과 기존의 RC 바닥판에 대하여 펀칭전단강도실험을 실시하여 거동특성을 비교하였으며, 기존 RC 바닥판에 적용하고 있는 각국의 설계식들과 비교하였다.

**핵심용어** : 교량바닥판, 강합성 바닥판, 펀칭파괴, 펀칭전단강도

#### 1. 서 론

초간편 H형강 교량은 H형강을 거더로 활용하여 중·소규모의 교량에 적용이 가능한 구조적 합리성과 급속 시공성을 가지는 교량이다.(박정웅 외, 2007) 초간편 H형강 교량을 구현하기 위해서 가로보나 브레이싱을 설치하지 않으면서도 거더 가설 시 발생할 가능성이 있는 휨-비틀 좌굴을 방지할 수 있도록 강성을 확보하면서, 바닥판 콘크리트 타설을 위한 거푸집 기능을 수행하고, 철근을 대체하여 휨에 저항할 수 있도록 개발된 것이 초간편 강합성 바닥판이다.(한득천 외, 2007) 즉 초간편 강합성 바닥판은 콘크리트와 유공형강이 합성되어 휨에 저항하는 강-콘크리트 합성바닥판이다. 초간편 강합성 바닥판은 공장에서 패널이 제작되어 시공현장으로 운반 후 조립하여 배력 철근을 배근하고 콘크리트를 타설하기 때문에 기존의 현장타설 콘크리트 바닥판보다 시공의 간편성을 확보

하고 시공기간을 단축시켜 직접적인 공사비 절감뿐 아니라 교통의 조기 소통으로 사회 간접적 비용절감효과를 기대할 수 있다.

현행 도로교설계기준(건설교통부, 2005)의 교량바닥판에 대한 설계방법은 휨 이론에 따라 바닥판을 단위 폭의 보로 보고 강도설계법으로 설계하고 있다. 그러나 실제 교량바닥판의 파괴 형태는 펀칭에 의한 파괴(Youn 외, 1996)이므로 바닥판의 극한성능은 펀칭전단강도를 토대로 평가해야 할 것이다. 대부분의 교량바닥판은 RC바닥판으로 설계·시공되어 많은 연구들이 RC바닥판의 펀칭강도나 보강에 대한 연구에 집중되어 있는 실정이다.(Chen 외, 2005) 따라서 초간편 강합성 바닥판에 대한 기초적인 펀칭전단성능에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 개발된 초간편 강합성 바닥판의 펀칭전단성능을 파악하기 위하여 초간편 강합성 바닥판과 RC바닥판에

\*정회원 · 선문대학교 토목공학과 교수 (E-Mail : kyyoon@sunmoon.ac.kr)

\*\*선문대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*정회원 · 선문대학교 토목공학과 교수

\*\*\*\*정회원 · 한국기술과학교육대학교 건축공학부 교수 (교신저자)

대한 편칭전단실험을 실시하여 비교하여 보았다. 또한 현재 RC바닥판의 편칭전단강도를 산정하는 각국의 설계기준식을 이용하여 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도를 산정하고 실험결과와 비교하여 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도 산정을 위한 기초적인 연구를 수행하였다.

## 2. 설계기준에서의 편칭전단강도

각국의 설계기준은 RC바닥판 또는 PSC바닥판에 적용할 수 있는 식들을 제안하고 있다. 본 연구에서는 각 설계기준 식이 갖는 특성을 파악하고 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도 산정에 적용하여 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도 산정에 필요한 변수들을 파악하고자 하였다.

- 도로교설계기준 (건설교통부, 2005)

$$P_C = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \sqrt{f_{ck}} b_p d \leq \frac{1}{3} \sqrt{f_{ck}} b_p d \quad (1)$$

여기서,

- $\beta_c$  = 집중하중이나 반력을 받는 면적의 긴 변의 짧은 변에 대한 비.
- $C_1, C_2$  = 집중하중이나 반력을 받는 면적의 가로, 세로 길이
- $d$  = 유효 깊이
- $b_p = 2(C_1 + C_2) + 4d$  (위험단면 둘레길이)

- ACI 318-05 (ACI, 2005)

$$P_c = 0.083 \left(2 + \frac{4}{\beta_c}\right) \sqrt{f_{ck}} b_0 d \quad (2a)$$

$$P_c = 0.083 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{\beta_c}\right) \sqrt{f_{ck}} b_0 d \quad (2b)$$

$$P_c = 0.083 \times 4 \sqrt{f_{ck}} b_0 d \quad (2c)$$

여기서,

- $\alpha_s$ 는 접지면의 위치에 관한 계수 (40 : 안쪽, 30 : 가장자리, 20 : 모서리)
- $b_0 = 2(C_1 + C_2) + 4d$
- 위의 식 중 가장 작은 값으로 결정

- CEB-FIP (CEB, 1990)

$$P_C = 0.18 \xi (100 \rho f_{ck})^{1/3} b_p d \quad (3)$$



그림 1. 식(1)과 식(2)의 위험단면.

여기서,

- $\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y}$  (철근비로서 종방향 철근과 횡방향 철근에 대해 계산)
- $\xi = 1 + \sqrt{200/d}$
- $b_p = 2(C_1 + C_2) + (2d \times 2\pi)$

- Eurocode 2 (European Standard, 2004)

$$P_C = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} b_p d \geq P_{\min} \quad (4)$$

여기서,

- $P_{\min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} b_p d$
- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$
- $\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \times \rho_{lz}} \leq 0.02$
- $C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c$  (부분안전계수  $\gamma_c = 1.5$ )

- BS 8110 (British Standard Institution, 1985)

$$P_c = 0.79 \sqrt[3]{100 \rho} \sqrt[4]{\frac{400}{d}} U d \quad (5)$$

여기서,

- $\rho$  = 철근비 (0.03을 넘지 않아야 함)
- $U = 2(C_1 + C_2) + 1.5d \times 8$
- $f_{ck}$ 는 25 MPa가 넘을 경우  $(f_{ck}/25)^{1/3}$ 을 곱해 주며 40 MPa를 넘지 않아야 한다.

- JSCE (일본토목학회, 1986)

$$P_c = 0.188 \beta_d \beta_p \beta_r \sqrt{f_{ck}} U d \quad (6)$$

여기서,

- $\beta_d = (1000/d)^{1/4}$
- $\beta_p = (100 \rho)^{1/3}$  ( $\beta_d$ 와  $\beta_p$ 는 1.5를 넘지 않아야 함)
- $\beta_r = 1 + 1/(1 + c/d)$
- $c = (C_1 + C_2)/2$
- $U = 2(C_1 + C_2) + \pi d$



그림 2. 식(3)과 식(4)의 위험단면.



그림 3. 식(5)의 위험단면.



그림 4. 식(6)의 위험단면.

식(1)과 식(2)의 도로교설계기준과 ACI에서의 편칭전단강도는 콘크리트의 강도와 둘레면적의 함수로 표현되어 있으며, 식(3)에서 식(6)까지의 편칭전단강도는 콘크리트의 강도와 둘레면적, 철근비의 함수로 표현되어 있는 것을 알 수 있다. CEB-FIP에 의한 편칭전단강도는 부분안전계수 1.5가 고려된 식으로써, 본 연구에서는 부분안전계수를 고려하지 않은 공칭강도인 식(3)을 사용하였으며, 또한 식(4)에서도 공칭강도를 산정하기 위하여 이를 사용하지 않았다.(조선규 외, 2006)

### 3. 실험 계획

#### 3.1 실험체 상세

실험체는 1등급 교량에 적용하는 DB-24 하중을 지지할 수 있는 교량바닥판으로 설계하였다. 여기서 거더의 간격은 지간장 20~30m에 적용할 수 있는 초간편 H형강 교량을 고려하여 1.5m로 결정하였다.(박종섭 외, 2009) 이상의 설계조건하에 설계된 RC 바닥판과 초간편 강합성 바닥판에 대하여 편칭전단강도를 실험을 실시하기 위한 실험체의 길이는 1.8m로 하여 그림 5와 그림 6과 같이 제작하였다. 초간편 강합성 바닥판의 경우 하부강판이 단절되어 있는 연결패널에서의 강도가 하부강판의 단절이 없는 거더패널에서의 강도보다 현저히 작을 것으로 예상되어 그림 6과 같이 연결패널부를 중심으로 제작하였다. 두 실험체 모두 충분한 정착을 위하여 거더를 지나 충분한 거리를 확보하였다. 따라서 각 실험체의 크기는 바닥판의 폭 1.8m, 길이 1.5m(정착을 고려한 전체 길이 2.6m)이다.

RC 바닥판 실험체(이하 실험체명 RCS)의 바닥판 두께는 도로교설계기준의 바닥판 최소두께인 220mm로 하였으며, 주철근으로 HD16을 150mm간격으로 배근(유효깊이 : 180mm)하였고, 배력근으로 HD16을 200mm간격으로 배근하여 철근비는 횡방향으로 0.61%, 종방향으로 0.74%이다.

초간편 강합성 바닥판 실험체(이하 실험체명 SS)의 바닥판 두께는 현재까지 도로교설계기준에서 강합성 바닥판의 합리적인 설계법을 명시하고 있지 않아 설계하중을 효과적으로 지지할 수 있는 최적의 두께인 150mm로 하였다.(한득천 외, 2007) 주철근의 역할을 수행하는  $\pi$ 형강은 100×50×4.5×7.5를 사용하여 300mm간격으로 배치하였다. 하부강판은 연결패널의 불연속 이음부로부터 인하여 힘을 받는 주부재가 아니고  $\pi$ 형강만 인장을 받는 부재로 거동하게 된다. 따라서 종방향으로 유효깊이  $d$ 는 100mm가 된다. 횡방향으로는 배력철근으로 HD13을 200mm간격으로 배근하였으며, 하부의 강판( $t=6$ mm)도 배력근의 역할을 수행하게 되므로 유효깊이는 153mm가

초간편 강합성 바닥판의 편칭 전단에 관한 실험적 연구

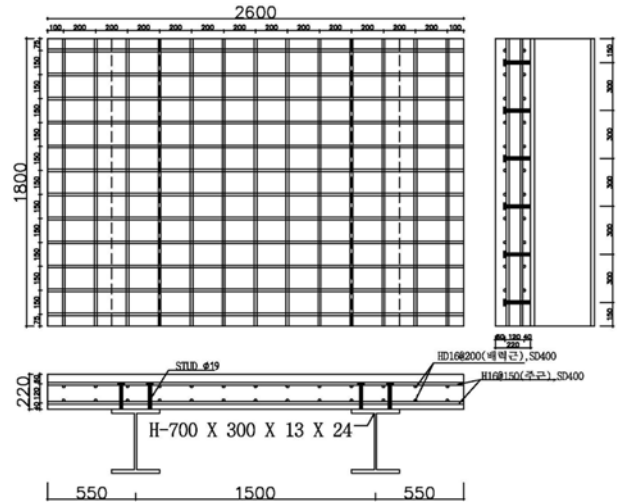


그림 5. RC 바닥판의 평면도와 단면도(RCS).

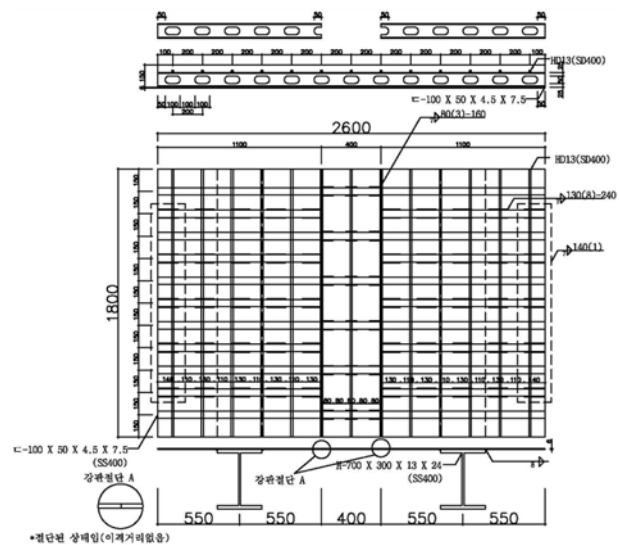


그림 6. 초간편 강합성 바닥판의 평면도와 단면도(SS).

표 1. 실험체 상세

실험체명	바닥판 두께 (mm)	유효 깊이 (mm)	철근비	
			횡방향 (%)	종방향 (%)
RCS	220	180	0.61	0.74
SS	150	100	3.92	3.97

된다. 따라서 초간편 강합성 바닥판의 철근비는 종방향 3.97%, 횡방향으로는 3.92%이다. 실험체의 주요상세를 정리하면 표 1과 같다.

#### 3.2 실험체 제작

그림 7~그림 12는 SS실험체 제작 과정으로  $\pi$ 형강과 하부강판의 용접을 하는 강제 거치에서부터 중앙부 연결패널 거치, 연결패널 조립, 콘크리트 타설 등 제작 과정이다.

실험체 제작에 사용된 콘크리트의 압축강도는 실험체의 양생과정과 동일하게 현장양생한 표준규격의 몰드를 사용하여



그림 7. 강제 거치.



그림 10. 배력근 배근 및 거푸집 제작.



그림 8. 연결패널 거치.



그림 11. 콘크리트 타설.



그림 9. 연결패널 조립.

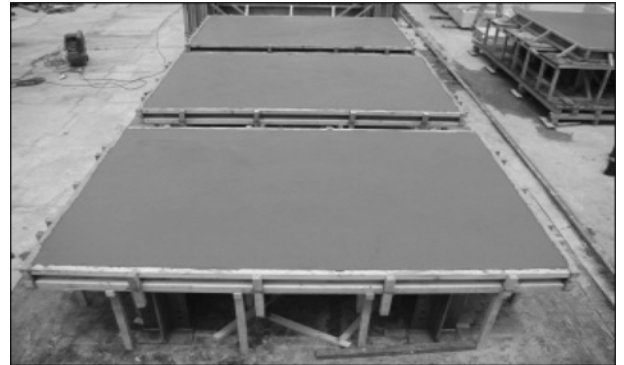


그림 12. 현장양생.

압축강도실험을 실시한 결과 22 MPa로 측정되었다.

#### 4. 실험 방법

##### 4.1 하중 재하

RCS와 SS의 편칭전단강도 측정은 2,000 kN 능력의 유압기를 이용하여 조선대학교 구조실험동에서 실시하였다. 실험체는 그림 13, 그림 14와 같이 RCS와 SS를 각 한 개씩 제작하여 실험체의 중앙 부분에 그림 15와 같이 도로교 설계 기준의 재하면적 200×500 mm으로 실험체가 더 이상 외력에 저항하지 못할 때까지 하중을 재하 하였다.

##### 4.2 변위 측정 위치

수직 변위 계측은 실험체와 하중재하조건이 모두 대칭인

관계로 그림 16과 같이 바닥판 하부의 정중앙부분(DT3)과 중앙부에서 종방향으로 200 mm 떨어진 지점(DT2)과 400 mm 떨어진 지점(DT1), 중앙부에서 횡방향으로 300 mm 떨어진 지점(DT4)과 600 mm 떨어진 지점(DT5)에 변위계를 총 5개 설치하였다.

#### 5 실험 결과

##### 5.1 RCS 실험체의 실험 결과

RCS 실험체의 편칭전단강도 실험결과 최대하중은 그림 17에서 보는 바와 같이 523kN으로 측정되었으며, 최대하중에서의 변위는 표 2에서 보는 바와 같다. 하중재하판의 크기가 중앙점에서 종방향으로 250 mm인 관계로 표 2에서 보는 바와 같이 DT3와 DT2의 변위는 큰 차이를 보이지 않고 있으



그림 13. RCS 실험체.

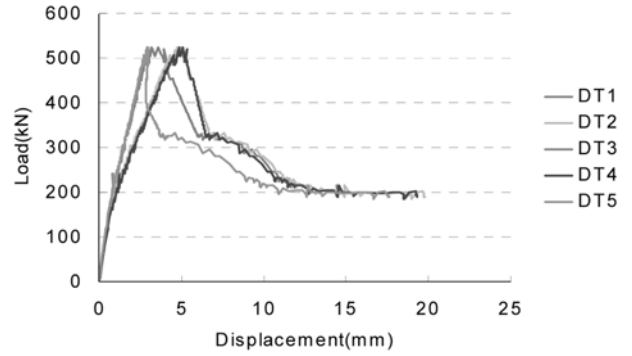


그림 17. 하중변위 곡선



그림 14. SS 실험체.

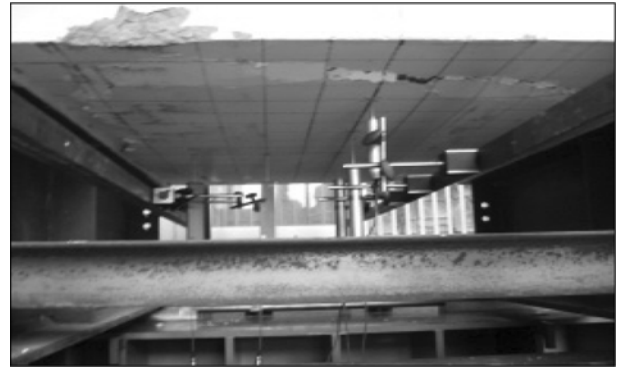


그림 18. RCS 실험체의 하부 파괴 모습.

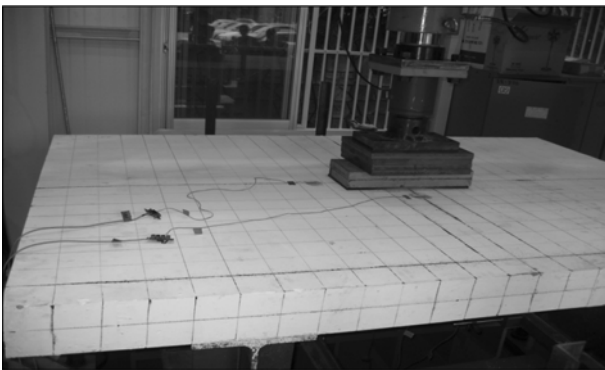


그림 15. 하중 재하 위치.

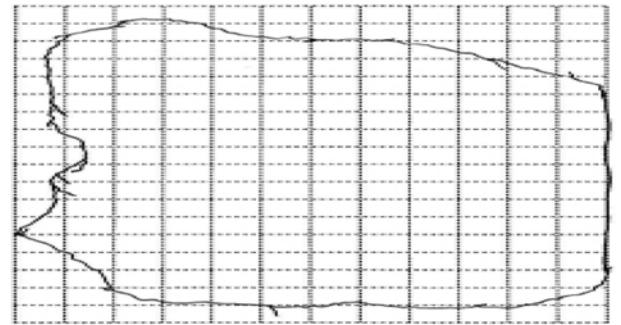


그림 19. 하부 균열도.

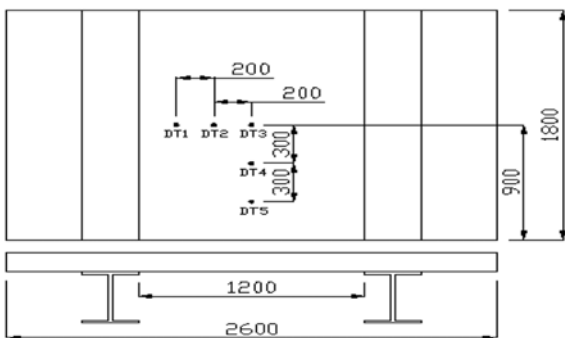


그림 16. 하부 변위계 설치 위치.

표 2. 최대하중에서의 변위 (단위 mm)

하중 (kN)	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5
523	3.59	4.96	5.08	4.02	2.97

며 종방향으로 곡률이 횡방향으로의 곡률보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 하중재하판의 크기의 영향으로 판단된다.

그림 17에서 보는 바와 같이 최대하중점을 지나서 급격히 강성이 저하되면서 파괴에 이르러 최종 파괴형상은 그림 18과 그림 19와 같다. 여기서 그림 19의 하부균열도는 바닥판의 순지간을 100 mm간격의 격자로 나누어 표현한 그림이다. 거더간의 간격이 1.5 m이고, 거더플랜지의 폭을 제외한 바닥판의 순지간은 1.2 m인데 비하여 하중재하판의 크기가 500 mm이어서 편칭균열이 거더의 플랜지 경계면까지 이르러 형성되었다.

### 5.2 SS 실험체의 실험 결과

SS 실험체의 편칭전단강도 실험결과 최대하중은 그림 20에서 보는 바와 같이 730 kN으로 측정되었다. 그러나 그림 20에서 보는 바와 같이 RCS 실험체와는 다른 거동을 하고 있는 것을 알 수 있는데, 재하하중의 크기가 520 kN에서 약간

의 소성변형을 일으킨 후 다시 강성이 증가하여 하중을 더 저항하는 거동을 보이고 있다. 소성변형을 일으킨 시점에서의 변위를 정리하면 표 3과 같다. RCS실험체와 마찬가지로 하중판의 크기의 영향으로 종방향 곡률이 횡방향 곡률보다 큰 것을 알 수 있다. 최대하중 730 kN 재하후에 더 이상 하중이 재하 되지 않았다. 520 kN의 하중에서 약간의 소성변형을 일으키기는 하였으나 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도는 730 kN인 것으로 판단된다.

하부 및 상부의 최종 파괴형상을 정리하면 그림 21과 그림 22와 같다. 그림 21에서 보는 바와 같이 하부강판으로 인하

표 3. 소성변형점에서의 변위 (단위 mm)

하중(kN)	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5
520	4.76	6.62	7.34	5.57	3.54

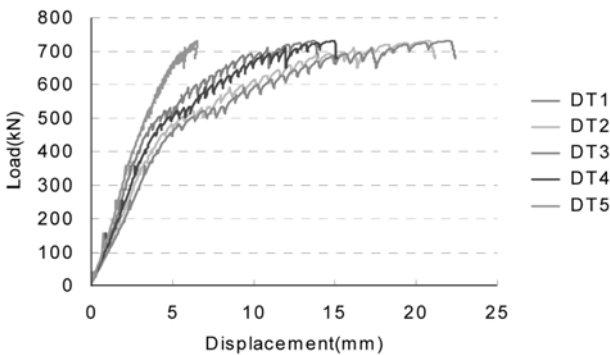


그림 20. 하중-변위 곡선.



그림 21. SS 실험체의 하부 파괴.

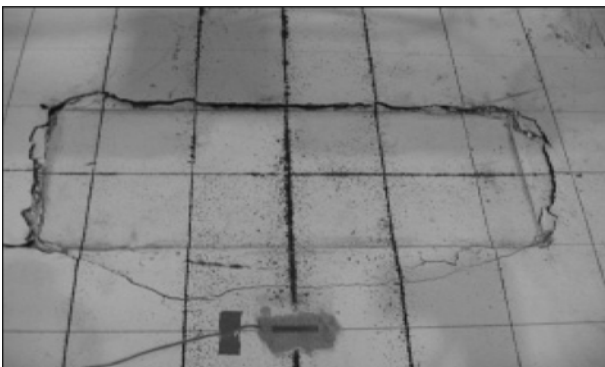


그림 22. 상부 파괴 모습.

여 콘크리트의 균열을 파악할 수는 없었지만, 연결패널의 하부강판 불연속이음부에서 콘크리트가 절단된 모습을 확인 할 수 있었다. 또한 이때 상부 하중재하점에서는 그림 22에서 보는 바와 같은 균열이 발생하였다. 따라서 하중재하판 주변의 균열로 보아 콘크리트 내부의 균열은 상당히 진행되었으나, C형강으로 인하여 충분히 하중을 지지하고 있었음을 짐작할 수 있다.

### 5.3 RCS와 SS의 편칭전단거동 분석

RCS와 SS 실험체에서 모두 최대변위가 발생하고 있는 DT3에서의 변위를 비교하면 그림 23과 같다. RCS 실험체에서는 523 kN의 최대하중을 받고 강성이 급격히 감소하고 있으나, SS 실험체에서는 520 kN에서 소성변형이 시작되어 최대하중 730 kN까지 일정정도의 강성을 유지하며 상당히 큰 소성변형이 진행되는 것을 알 수 있다. 두께 220 mm의 RCS 실험체의 강성이 두께 150 mm의 SS 실험체보다 큰 강성을 가지고 있으나 SS 실험체의 경우도 표 4에서 보는 바와 같이 충격을 고려한 DB-24의 사용하중하에서의 변위가 1.29 mm로 도로교설계기준에서의 상부구조물 처짐규정을 만족시키고 있는 것으로 나타났다.

그림 18과 그림 19에서의 RCS 실험체 파괴형상은 전형적인 편칭전단파괴형상을 보이는 것에 반하여 그림 21과 그림 22에서의 SS 실험체 파괴형상은 하부강판으로 인하여 편칭전단균열을 확인할 수는 없었으나, 하중재하판 주변의 균열과 연결패널 불연속 이음부에서의 콘크리트균열로 보아 내부적으로 편칭 파괴가 일어났다고 판단된다.

따라서 본 연구에서 실험한 두께 150 mm의 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도가 두께 220 mm의 RC 바닥판의 편칭전단강도 보다 우수한 것을 알 수 있었으며, 도로교설계기준의 처짐규정을 충분히 만족시키고 있는 것으로 파악되었다.

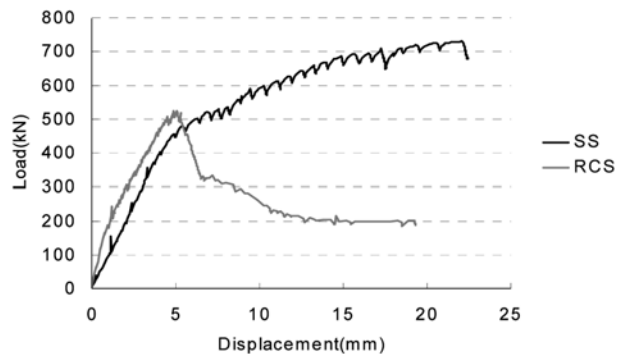


그림 23. 하중-변위 비교(DT3).

표 4. 실험 결과 분석

구분	RCS	SS
편칭전단강도(kN)	523	730
125kN <sup>1)</sup> 하중일 때 변위(mm) <sup>2)</sup>	0.53	1.29

<sup>1)</sup>후륜하중 96kN × 충격1.3 = 125 kN

<sup>2)</sup>사용 활하중과 충격으로 인한 처짐 < 경간/800  
여기서, 경간/800 = 1200/800 = 1.5mm

#### 5.4 설계기준의 편칭전단강도와 비교

앞의 2장에서 살펴본 각국 설계기준에 나타난 교량바닥판의 편칭전단강도 식은 RC 바닥판 또는 PSC 바닥판의 강도를 산정하는데 적용되는 식들이다. 본 연구에서는 이들 식을 초간편 강합성 바닥판에 대하여 적용하여 실험결과와 비교함으로써 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도 계산에 중요한 변수를 파악하고자 하였다.

RCS와 SS실험체의 편칭전단강도를 산정하여 표 5에 정리하였다. 여기서 SS실험체의 경우 유효깊이는  $\alpha$ 형강의 도심까지의 거리로 하였다. RCS 실험체의 경우는 설계기준에서 제시하고 있는 모든 제한 규정을 적용하여 산정하였으나, SS 실험체의 경우에는 형강을 사용한 강합성 바닥판이므로 제한 규정을 무시하고 편칭전단강도를 산정하여 보았다.

표 5를 살펴보면 RCS 실험체의 편칭전단강도는 523 kN으로 설계기준의 편칭전단강도식에 의해 산정된 편칭전단강도보다 3~9%정도 작게 측정되었다. 이는 본 연구에서 지간장 20~30 m급 초간편 H형강 교량에 적용할 수 있는 초간편 강합성 바닥판을 설계하였기 때문에 거더간격이 1.5 m가 되어 바닥판의 순지간이 1.2 m로 설계되었다. 또한 실물교량에 실제 트럭접지면적을 적용하여 실험을 실시하였으므로 하중재하판의 크기가 바닥판의 순지간에 비해 상대적으로 커서 편칭전단균열이 그림 19에서 보는 바와 같이 거더 플랜지의 경계부에서 발생하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 RCS 실험체의 편칭전단강도는 합리적으로 측정되었다고 판단된다.

SS 실험체의 편칭전단강도는 730 kN으로 설계기준의 편칭전단강도식에 의한 값보다 7~190% 정도 크게 측정되었다. 도로교설계기준과 ACI 318-05는 편칭전단강도를 콘크리트의 압축강도와 유효깊이, 둘레길이의 함수로 표현되어 철근의 효과를 고려하고 있지 않고 위험단면을  $d/2$ 로 규정하고 있으므로 콘크리트 두께가 작은 초간편 강합성 바닥판의 강도를 현저히 과소평가하는 것으로 나타났다.

BS 8110과 일본토목학회의 편칭전단강도식에는 철근비를 고려하고 있어 도로교설계기준이나 ACI 31-05보다 강도를 크게 산정하고 있으나 여전히 초간편 강합성 바닥판의 강도를 작게 평가하고 있다. 이는 위험단면을  $1.5d$  또는  $0.5d$ 로 규정하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

CEB-FIB와 Eurocode 2는 결과적으로 같은 강도를 산정하고 있는데 이는 식 (4)에 적용되어야 하는 제한규정을 무시

하여 식 (3)과 식 (4)가 동일한 식이 되기 때문이며, 철근비를 고려하고 위험단면도  $2d$ 로 규정하여 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도를 비교적 근사하게 추정하게 되는 것으로 판단된다.

따라서 초간편 강합성 바닥판에서는 형강을 철근처럼 사용하여 철근비가 매우 크게 되므로 편칭전단강도에 철근비의 영향이 크며, 또한 형강이 편칭전단에 저항하는 바가 크게 나타나므로 합리적인 위험단면의 결정이 중요한 변수인 것으로 파악되었다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 DB-24하중을 지지하며 지간장 20~30 m급 초간편 H형강 교량의 바닥판을 RC 바닥판과 초간편 강합성 바닥판으로 설계하여 편칭전단강도 실험체를 제작하고 편칭전단강도실험을 실시하였다. 실험을 통하여 두 실험체의 거동특성을 비교하여 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도와 거동특성을 파악하고자 하였으며, 각 국의 설계기준에 제시하는 편칭전단강도 식과 비교하여 강도에 영향을 미치는 중요 변수를 파악하고자 하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 파괴형상을 살펴보면 RCS 실험체는 기존의 연구결과와 유사한 편칭전단파괴형상으로 파괴에 이르렀다. SS 실험체의 경우 하부강판의 영향으로 편칭파괴균열을 직접 확인할 수 없었으나 하중재하점에서의 균열과 연결패널부에서의 균열을 통하여 콘크리트 내부에서 편칭균열이 발생하였을 것으로 추정할 수 있었다.
- 2) RCS 실험체의 편칭전단강도는 523 kN으로 설계기준의 편칭전단강도보다 3~9%정도 작게 측정되었으나 바닥판의 순지간과 하중재하판의 면적을 고려하면 합리적인 실험결과인 것으로 판단된다.
- 3) SS 실험체의 편칭전단강도는 730 kN으로 측정되었으며 520 kN 하중에서 소성변형이 발생하여 일정 정도의 강성을 유지하며 상당히 큰 변형을 일으키는 것으로 파악되었다. 이는 형강의 영향이 큰 것으로 판단된다.
- 4) 바닥판 두께가 작은 SS 실험체의 강성이 RCS 실험체의 강성보다 작아 큰 변형을 일으키나 사용하중하에서 도로교설계기준의 처짐규정을 만족시키므로 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도는 RC 바닥판의 강도보다 우수한 것으로 나타났다.
- 5) 각 설계기준의 편칭전단강도식에 의한 강도와 SS 실험체의 실험결과를 비교하면 초간편 강합성 바닥판의 편칭전단강도에는 철근비와 위험단면이 중요변수임을 파악할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행 한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심C17)에 의한 것임.

표 5. 기존 설계기준과 편칭전단강도 비교 (단위 kN)

구분	RCS	SS
도로교설계기준	537	253
ACI 318-05	535	252
CEB-FIP	562	681
Eurocode 2	540	681 <sup>1)</sup>
BS 8110	558	460
JSCE	578	425
실험 결과	523	730

<sup>1)</sup>식 (4)의 제한 규정 무시

## 참고문헌

- 건설교통부 (2005) 도로교설계기준.
- 박정웅, 이선호, 윤기용, 박종섭, 김상섭 (2007) H형강을 이용한 초간편 장시간 강합성 교량 개발에 관한 기초 연구. **한국강구조학회 학술발표 논문집**, 한국강구조학회, pp. 758-763.
- 박종섭, 김재홍 (2009) 강합성 초간편 H형강 교량의 하중분배계수에 관한 해석적 연구. **한국강구조학회 논문집**, 제21권, 제3호, pp. 221-232.
- 조선규, 곽중원, 이종민, 문대중 (2006) 집중 하중을 받는 고강도 경량콘크리트 바닥판의 편칭전단 거동. **대한토목학회 논문집**, 제26권, 제1-A호, pp. 219~228.
- 한득천, 윤기용, 김상섭 (2007) 가설하중 하에 서 초간편 강합성 바닥판 거더패널의 거동에 관한 해석적 연구. **한국산학기술학회논문지**, 한국산학기술학회, 제8권, 제6호, pp. 1537-1542.
- American Concrete Institute (2005) *ACI Manual of Concrete Practice, Part 3*, ACI, USA.
- British Standards Institution (1985) *Structural Use of Concrete: Part 1, Code of Practice for Design and Construction*. BS 8110, London.
- CEB (1990). CEB-FIP MODEL CODE, Final Draft, July.
- Chen, C.-C., Li, C.-Y. (2005) *Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs Strengthened with Glass Fiber-Reinforced Polymer Laminates*. ACI Structural Journal, Vol.102, No.4, pp. 535-542.
- European Standard (2004) *Eurocode 2 : Design of Concrete Structures Part 1-1: General Rules And Rules For Buildings*. pp. 86-104.
- Japan Society of Civil Engineers, (1986) *Standard Specifications for Design and Construction of Concrete Structures, Part 1, Design*. JSCE, Tokyo, Japan,
- Youn, S.G. and Chang, S.P. (1996) *Behavior of composite decks subjected to static and fatigue loading*. ACI Structural Journal. Vol.95, No.3, pp. 249-258.

© 논문접수일 : 09년 09월 29일

© 심사의뢰일 : 09년 09월 30일

© 심사완료일 : 09년 10월 13일