

LB-DECK을 이용한 철근콘크리트바닥판의 편칭전단강도

Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Bridge Decks with LB-DECK

윤 석 구^{*} 이 재 홍^{**} 조 선 규^{***} 정 재 동^{****} 원 용 석^{*****}
Youn, Seok Goo Lee, Jae Hong Cho, Sun Kyu Jeong, Jae-Dong Won, Yong Suk

ABSTRACT

LB-DECK is used for both of permanent formwork and structural component with cast-in place concrete of concrete bridge decks. Current Korean design code recommends that concrete bridge deck with precast concrete panels have to be designed only using conventional flexural design method and does not allow the empirical design method which is based on punching shear strength of bridge deck. This paper present experimental test results of punching shear strength of concrete bridge decks with LB-DECKs. Six full-scaled concrete bridge decks, which are designed with the empirical design method, are fabricated with variation of girder spacings. Test results are presented in the paper and compared with the code predictions of ACI 318, CEB-FIP MC90. Based on the test results, it is proposed that LB-DECK is suitable to apply the empirical design method for concrete bridge decks.

1. 서론

LB-DECK은 영구거푸집의 한 형식으로서 현장타설되는 콘크리트와 합성되기 때문에 구조적 역할도 수행한다. 현재 실무에서는 LB-DECK 철근콘크리트바닥판 설계시 교량바닥판의 편칭전단강도를 토대로 하는 경험적설계법이 아닌 휨파괴를 토대로 하는 강도설계법을 적용하고 있다. 본 연구에서는 LB-DECK 철근콘크리트바닥판을 제작하고, 편칭전단강도시험을 수행하여 경험적설계법의 적용가능성을 평가해보았다.

2. 본론

2.1 실험부재 제원

LB-DECK 철근콘크리트바닥판의 구조적인 거동 및 사용성과 안전성을 평가하기 위하여 2개의 단순

* 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수, 공학박사.

** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 석사과정, 공학사.

*** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수, 공학박사.

**** 정회원, (주)다윈이앤씨 사장, 공학박사.

***** 정회원, (주)효성엘비테크 부사장, 공학사.

지지 부재와 4개의 합성지지 부재를 제작하였다. 현재 실무에 적용하고 있는 LB-DECK의 폭이 1.2m 이고, 각 부재는 편칭전단 파괴시험시 하중재하위치로부터 바닥판 하면의 파괴면이 바닥판 유효깊이 d의 2배정도 떨어진 위치에서 발생하는 점을 고려하여 60mm의 precast panel LB-DECK 3개를 연속으로 배치하고 양단에 300mm씩 추가로 현장타설되는 콘크리트를 타설하였으며, 총길이는 4.2m로 통일하였다(그림 1, 그림 2 참조). 합성지지부재의 경우 상부플랜지 위에 전단연결재가 설치된 2개의 H형강(588x300x12x20)에 가로보로서 ㄷ형강(300x90x9x13)을 이용하여 양단부와 거더 지간 내부에 총 4개를 설치한 위에 3개의 LB-DECK를 거치한 후 콘크리트를 현장타설하여 실험부재를 제작하였다. 양단부에 설치된 가로보는 상부플랜지 인근에 설치하고 또한 전단연결재를 취부하여 현장타설되는 콘크리트와 합성으로 거동하게 설계하였으며, 거더 지간 내부에 설치된 가로보는 하부플랜지 인근에 설치하여 강거더의 횡방향 변위를 구속하도록 설계하였다.

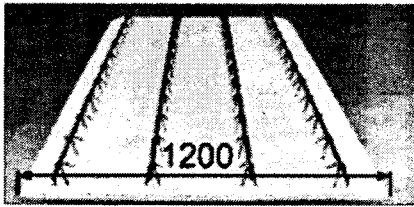


그림 1 LB-DECK 완성품

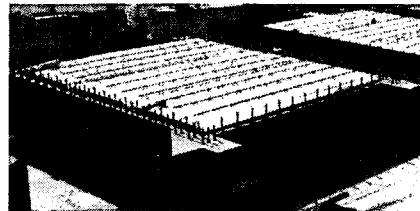


그림 2 LB-DECK 거치

2.2 실험방법

하중재하위치는 부재의 중앙부이며 집중하중을 하중조절방식과 변위제어방식을 이용하여 재하하였다. 집중하중의 크기는 340kN까지는 하중제어방식으로 0.5tonf/sec의 속도로 2회씩 반복하고 변위제어방식으로 변화된 이후에는 0.015mm/sec의 속도로 하중을 증가시켰다. 단계별 하중의 크기는 실험부재에 대한 유한요소해석결과를 토대로 산정하였으며, 집중하중 재하시 설계트럭의 후륜하중을 모사하기 위하여 접지면적은 200mm x 500mm로 하였다. 집중하중에 따른 판부재의 거동을 살펴보기 위하여 실험부재 중요 부위의 처짐, 변형률, 균열폭 그리고 균열진전상황을 측정하였다.



그림 3 단순지지부재 재하전경



그림 4 합성지지부재 재하전경

3. 실험결과 분석 및 고찰

집중하중 재하실험결과, 단순지지부재와 합성지지부재 모두 편칭전단으로 파괴되었다. 재하하중의 크기를 증가시킴에 따라 실험체의 하면에서 종방향균열이 발생된 이후 횡방향균열이 발생되었으며 하중재하위치를 중심으로 방사형으로 균열이 진전되었다. 실험체의 상면은 재하하중 850kN까지는 바닥판 하면과 달리 육안관찰을 통해 균열을 확인할 수 없었다. 편칭파괴시 모든 실험부재는 실험체의 상면에

서 하중집지면적에 해당되는 부위가 국부적으로 아래로 함몰되었으며, 하면의 편칭과괴면은 일반적인 철근콘크리트바닥판과 달리 넓게 발생하지 않았고, 파괴부위가 cone처럼 분리되지 않았다. 바닥판 편칭과괴면이 cone처럼 분리되지 않은 이유는 LB-DECK 철근콘크리트바닥판의 경우 Lattice-bar에 수많은 Diagonal-bar가 수직방향으로 배근되어 있기 때문에 일정정도 전단철근의 역할을 담당하고 또한 편칭과괴시 콘크리트가 cone처럼 분리되는 현상을 수직철근이 잡아주기 때문이라고 판단된다.

표 1 실험부재의 극한강도비교

실험부재		유효 지간 (m)	편칭전단강도 P_u (kN)	$\frac{P_u}{P_{ACI}}$ *	$\frac{P_u}{P_{CEB-FIP}}$ **	$\frac{P_u}{P_{design}}$ ***	$\frac{P_u}{P_{wheel}}$	파괴 형태
단순지지 판부재	SLP21	2.1	959.5	1.45	1.53	3.58	9.99	편칭전단
	SLP27	2.7	889.5	1.35	1.41	3.32	9.27	편칭전단
합성지지 판부재	CLP25A	2.35	1112.6	1.68	1.77	4.15	11.59	편칭전단
	CLP25B	2.35	1183.0	1.79	1.88	4.41	12.32	편칭전단
	CLP30A	2.85	1069.6	1.62	1.70	3.99	11.14	편칭전단
	CLP30B	2.85	1174.5	1.78	1.87	4.38	12.23	편칭전단

* : P_{ACI} 는 ACI 규정에 따른 편칭전단강도, $P_{ACI} = 660.32$ kN
 ** : $P_{CEB-FIP}$ 는 CEB-FIP 규정에 따른 편칭전단강도, $P_{CEB-FIP} = 628.70$ kN
 *** : P_{design} 는 계수윤하중의 크기로
 $P_{design} =$ 활하중계수 \times 설계윤하중(P_{wheel}) \times (1+ 충격계수)
 $= 2.15 \times 96 \times (1+0.3) = 268.3$ kN

표 2의 실험부재의 극한강도와 그림 5, 그림 6의 설계규정과 편칭전단강도의 비교로서 경험적설계법을 적용한 LB-DECK 철근콘크리트바닥판을 이용한 편칭전단강도는 ACI, CEB-FIP, 현행 도로교설계기준의 규정에 비해 충분히 안전측으로 나타났다. 여기서, ACI, CEB-FIP 규정에 EKfms 계산치는 전단면 철근콘크리트바닥판을 토대의 강도설계법으로 평가한 값이다. 표 2에 나타난 바와 같이 LB-DECK 철근콘크리트바닥판의 극한내하력을 전단면 철근콘크리트바닥판에 비교한 안전율은 단순지지부재의 경우 (ACI규정과 비교) 약 1.4배 정도, 합성지지부재의 경우 1.72배의 값을 나타내고, 계수설계하중에 대해서도 각각 3.45배, 4.23배로서 안전성을 확보하고 있다고 판단된다.

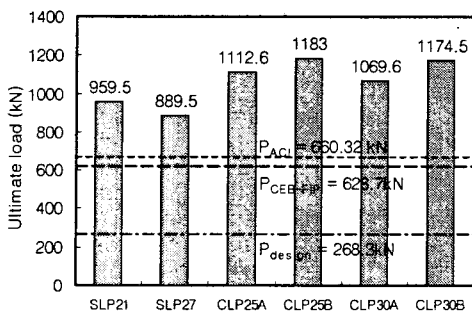


그림 5 편칭전단강도 P_u 와 설계규정과 비교

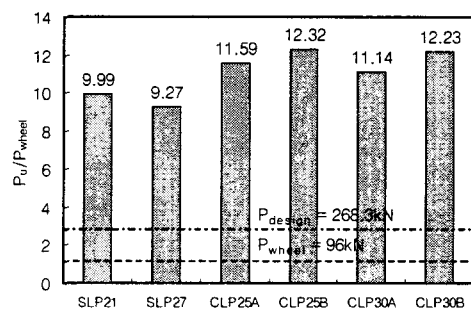


그림 6 편칭전단강도 P_u 와 설계윤하중 P_{wheel} 크기 비교

그림 7에서 제시된 바와 같이 모든 실험부재는 소성거동을 보이기 이전에 급격한 편칭전단파괴가 발생하였음을 알 수 있다. 사용성에 관한 관점에서 각 실험부재의 최대처짐은 합성지부재의 경우 거더 중심간격이 2.5m에서 3.0m까지 증가될 때 바닥판 두께 240mm의 약 1/15 - 1/10 정도였으며, 단순지부재의 경우 1/8.5 - 1/6.2 정도였다. 상대처짐량에 대한 허용처짐량의 경우 거더간격이 2.5m는 최대 0.12, 거더간격이 3.0m의 경우 최대 0.15로 허용처짐량에 대한 상대처짐량의 비율이 매우 작아 사용성도 만족하고 있음을 알 수 있다. (여기서, 허용처짐량=L/800, 상대처짐량은 각 하중단계에서의 처짐량을 설계활하중수준의 처짐량으로 나누어준 값이다.)

Load-Deflection Curve

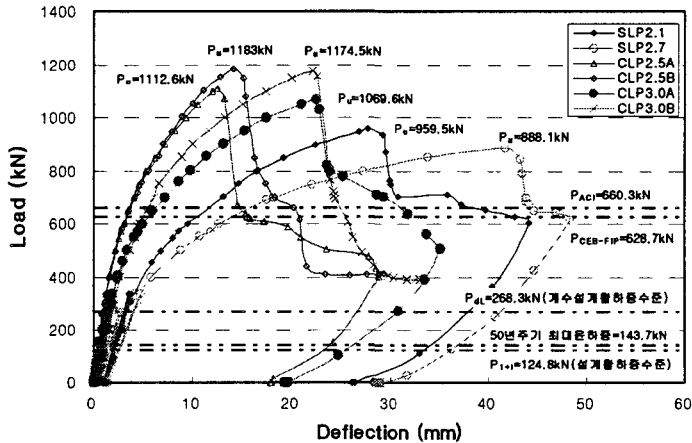


그림 7 하중-처짐 곡선 비교

재하판의 하면에 균열계이지를 설치하여 균열거동을 측정하였다. 실험결과 정모멘트부 종방향 균열하중의 크기는 단순지부재보다 합성지부재가 낮게 평가되었다. 단순지부재의 경우 종방향 균열하중의 크기는 설계운하중(충격계수 0.3포함) 크기 정도였으며, 합성지부재의 경우, 거더중심간격이 2.5m인 실험체의 경우 설계운하중의 약 83%정도이고, 3.0m의 경우에는 약 76% 정도였다. 부모멘트부 균열하중은 정모멘트 균열하중보다 매우 크게 평가되었는데, 사용활하중의 약 4배 이상이었다.

4. 결론

경험적설계법을 적용한 LB-DECK 철근콘크리트바닥판에 대한 정적하중재하시험 결과, LB-DECK 철근콘크리트바닥판의 편칭전단강도는 ACI, CEB-FIP, 현행 설계규정치보다 크게 평가되었다. 연구결과를 토대로 LB-DECK은 비록 precast panel이지만 교량바닥판에 적용시 경험적설계법을 준용할 수 있다고 평가된다.

참고문헌

1. 한국도로공사 (2005), LB-DECK 설계방침 실무자료.
2. 한국도로교통협회 (2005), 도로교설계기준.
3. ACI Committee 318 (2005), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
4. CEB (1991), CEB-FIP MODEL CODE 1990, Final Draft.