

LB-DECK 패널의 시공성 향상에 관한 연구

A Study on Constructability Improvement of LB-DECK Panel

조 현 철* 노 병 철** 조 규 대*** 최 규 형****
Cho, Hyun-Chul Lho, Byeong-Cheol Cho, Gyu-Dae Choi, Kyu-Hyung

Abstract

This study is to improve constructability of LB-DECK construction in site such as inconvenience of main and distribution bars in arrangements LB-DECK Panel which is work is applied to many bridges these days as a permanent formwork. So, the constructability is improved by changing the method of allocation of main reinforcing bar and distribution bar which is reviewed for improving efficiency of design and construction process among the suggested methods. The crack shapes, deflections, and strains under static load of the improvement of LB-DECK Panel are compared and analyzed to former LB-DECK Panel. As a result, 13% of strength compared to before the improvement of LB-DECK Panel, and 10% of strength is increased in the case of slab.

요 지

본 연구에서는 영구거푸집의 한 형태인 LB-DECK 패널을 적용하는 교량이 늘어남에 따라 LB-DECK 시공 중 하면주철근 및 하면배력근의 배근에 따른 시공성 저하요인을 해결하고자 하였다. 이에 따라 여러 가지 제시된 방안 중 설계 및 시공의 효율성을 검토하여 하면주철근 및 하면배력근을 LB-DECK 패널 내에 모두 배치하는 방안을 채택하여 개선단면을 도출하고 검증하였다. 검증 방법은 LB-DECK 패널의 개선 전·후에 대하여 정적재하실험을 통하여 하중에 따른 균열형상 및 처짐, 변형률을 비교하여 개선단면에 대한 내하력을 평가하였다. 그 결과 LB-DECK 패널의 경우 개선 전과 비교하여 약 13%, 슬래브의 경우 약 10%의 내하력이 증가하는 효과가 있는 것으로 분석되었다.

Keywords : Bridge deck, Lattice bar, LB-DECK panel, Permanent formwork

핵심 용어 : 교량바닥판, 레티스 바, LB-DECK 패널, 영구 거푸집

* 정희원, (주)효성기업부설연구소 연구원

** 정희원, 상지대학교 건설시스템공학과 교수

*** 정희원, (주)효성 대표이사

**** 정희원, 상지대학교 건설시스템공학과 박사과정

E-mail : winter4294@korea.com 033-735-0974

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2009년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

최근 많은 교량에 적용되고 있는 LB-DECK 패널은 폭 1,200mm, 두께 60mm로 삼각형 형태의 lattice bar와 주철근의 일부를 배치하여 제작한 후 거더 상에 시공하는 교량 바닥판공법이다. 이 공법의 장점은 작업발판 및 동바리가 필요없어 이에 따른 시공비 및 별도의 해체 공정이 없으므로 공사 중 추락사고 등에 의한 재해위험이 제거되며, 단순 공정에 의한 반복 작업으로 신속한 시공에 따라 공사기간이 단축되어 원가절감 및 품질개선의 효과를 얻을 수 있는데 있다(윤석구 외, 2005; 최은수 외, 2005; 노병철 외, 2007). 그러나 현장에 적용하고 있는 LB-DECK 패널은 거더 설치 후 하면주철근 및 하면배력근을 현장 배근함에 있어 작업의 어려움에 따른 시공성 저하로 공사비 증가요인이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 시공성 분석을 통하여 개선된 LB-DECK 패널을 제안하며, 수치해석과 정적재하실험을 통하여 제안된 LB-DECK 패널의 성능을 평가하고자 한다.

2 새로운 패널형식 제안을 위한 고려사항

새로운 단면을 설계함에 있어 가장 큰 특징은 시공

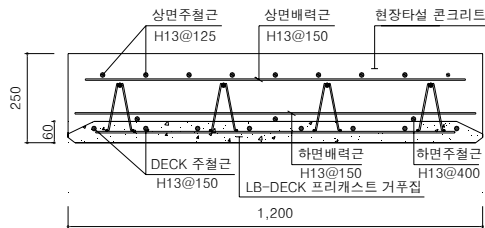


Fig. 1 LB-DECK 패널 단면도(개선 전)

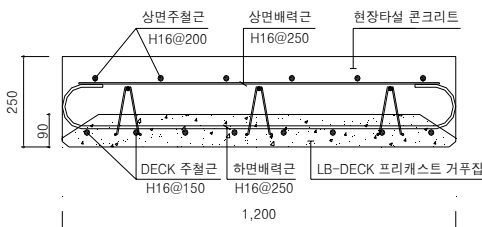


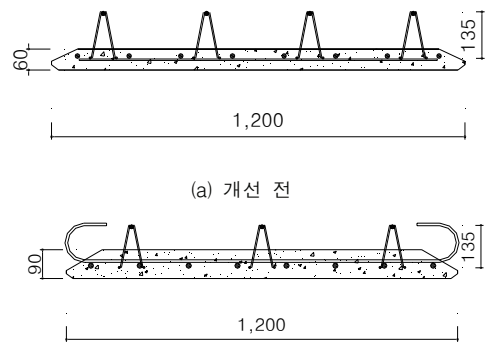
Fig. 2 LB-DECK 패널 단면도(개선 후)

성을 확보하는 것으로 현장 배근되는 하면주철근 및 하면배력근을 패널 내에 모두 배치한 것이다. 이로 인하여 패널의 두께가 증가하여 기존의 LB-DECK 패널보다 강성이 증가하여 가설하중에 대한 안전성이 더욱 높아졌다. 또한 설계철근량에 포함되지 않는 부가적인 lattice bar의 개수를 감소시킴으로서 생산 단가를 낮추도록 하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 LB-DECK 패널을 거더에 설치한 후 하면배력근과 하면주철근을 현장에서 배근한 후 콘크리트를 타설하여 슬래브를 완성하는 구조로부터 시공의 효율성을 극대화하기 위하여 Fig. 2와 같은 개선된 LB-DECK 패널을 제안하였다.

LB-DECK 패널의 경우 구조적인 거동측면에서 주철근과 lattice bar가 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 특히, LB-DECK 패널은 lattice bar의 영향으로 인하여 lattice bar를 제거한 단면과 비교하였을 때 하중저항 성능 면에서 매우 우수한 것으로 평가되고 있다(최은수 외, 2005; 노병철 외, 2008). 그러나 lattice bar의 경우 설계철근량에 포함되지 않으며, 삼각형의 트리스 구조로 패널 내부에 일부 삽입되기 때문에 거동예측이 어렵다. 따라서 수치해석을 통하여 LB-DECK 패널의 계략적인 거동을 예측하였다.

수치해석 모형은 LB-DECK 패널의 개선 전·후로 분류하여 모델링하였으며, 해석 프로그램은 MIDAS CIVIL을 이용하였다.

Fig. 3은 수치해석을 위한 패널 단면을 나타내었으며, Fig. 4는 beam 요소 및 solid 요소를 사용하여 패널을 이상화한 모델링을 나타내었다.



(a) 개선 전
(b) 개선 후
Fig. 3 LB-DECK 패널 단면도

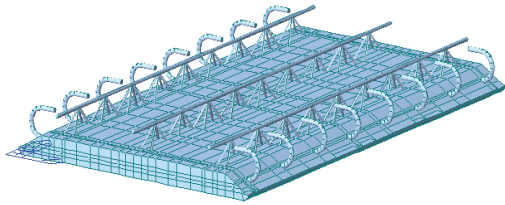


Fig. 4 LB-DECK 패널 모델링 예(개선 후)

개선 전·후 LB-DECK 모델에 재하된 최대 하중은 LB-DECK 패널에 배근된 주철근의 항복강도인 400MPa를 기준으로 하였다. Fig. 5와 Table 1은 항복하중에서의 처짐결과로 개선 후의 항복하중은 100kN으로 개선 전과 비교하여 약 25%의 하중을 더 받을 것으로 계산되었으며, 이때의 처짐량은 개선 전 3.8mm, 개선 후 3.5mm로 개선 후 약 8%의 감소 효과가 있었다.

3. 정적재하실험

3.1 재하실험을 위한 실험체 제작

재하실험을 위한 실험체 제작은 LB-DECK 패널의 경우 지간은 1,800mm, 단면은 개선 전 1,200×60(mm), 개선 후 1,200×90(mm)로 제작하였으며, 슬래브의

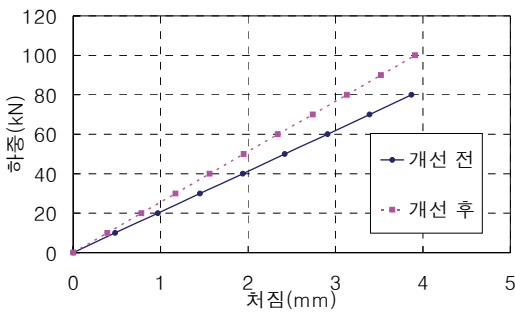


Fig. 5 LB-DECK 패널 구조해석 결과

Table 1 수치해석 결과

구분	개선 전	개선 후
항복하중(kN)	80	100
처짐(mm)	3.8	3.5

Table 2 실험체 제원

구분		단면 (mm)	지간 (mm)	실험체 개수	실험체 ID
LB-DECK 패널	개선 전	1,200×60	1,800	2	LBD1
					LBD2
	개선 후	1,200×90	1,800	2	IPD1
					IPD2
슬래브	개선 전	1,200×250	1,800	2	LBDS1
					LBDS2
	개선 후	1,200×250	1,800	2	IPDS1
					IPDS2

경우 지간은 1,800mm, 단면은 개선 전과 개선 후 동일하게 1,200×250(mm) 제작하였다. Table 2는 패널 및 슬래브의 단면 및 실험체 개수, 실험체 ID를 나타내었다.

3.2 사용재료

Table 3은 LB-DECK 패널 및 슬래브의 실험체 제작에 사용된 콘크리트 배합표이다. 즉, LB-DECK 패널의 설계기준 강도는 40MPa로 굵은 골재는 19mm가 사용되었으며, 슬럼프는 65mm로 나타났다. 또한 현장타설 콘크리트의 설계기준 강도는 27MPa로 굵은 골재는 25mm가 사용되었으며, 슬럼프는 80mm로 나타났다.

실험체에 배근된 철근은 D13과 D16으로 항복강도가 400MPa인 고강도 철근이 사용되었으며, LB-DECK 패널의 거동에 가장 중요한 역할을 하는 lattice bar의 경우 상부격자근(top bar)은 직경 12mm, 경사격자근(diagonal bar)와 하부격자근(bottom bar)은 직경 6mm로 항복강도가 460MPa인 고강도 강을 사용하여 제작하였다. Table 4는 lattice bar의 형상 및 구성을 나타내었다.

Table 3 콘크리트 배합표

f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	단위 중량(kg/m ³)				
				W	C	S	G	AD
27	25	80	4.5	160	361	814	1014	1.08
40	19	65	1.5	162	491	710	1036	4.91

Table 4 Lattice bar 형상 및 구성

형상 및 구성	직경(mm)
① 상부격자근(top bar)	12
② 경사격자근(diagonal bar)	6
③ 하부격자근(bottom bar)	6

3.3 정적재 하실험

실험체를 제작함에 있어 콘크리트가 설계된 강도로 발현되었는지 확인하기 위하여 KS F 2405에 따라 지름 100mm, 높이 200mm의 원추형 공시체를 제작하여 2,000kN용량의 만능재료시험기를 이용하여, 재령 7일, 14일, 28일 및 실험 시의 압축강도를 측정하였다. 시험결과 현장타설 콘크리트와 LB-DECK 패널의 실험 시 압축강도는 Table 5에 나타낸 바와 같이 37.1MPa와 50.1MPa로 설계기준강도 이상의 강도

Table 5 압축강도 시험 결과

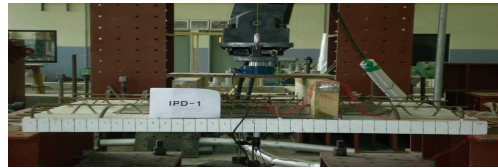
구분	재령(일)	압축강도(MPa)			평균강도(MPa)
현장타설 콘크리트	7	25.4	26.3	24.2	25.3
	14	31.8	29.4	30.2	30.5
	28	36.5	34.2	35.7	35.5
	실험 시	36.8	37.4	37.2	37.1
LB-DECK 패널	7	38.5	37.6	39.1	38.4
	14	40.3	42.1	41.7	41.4
	28	48.3	49.5	49.7	49.2
	실험 시	49.8	50.1	50.4	50.1

를 나타냄을 알 수 있었다.

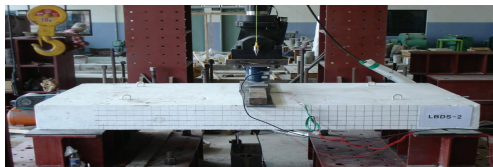
한편, LB-DECK 패널의 개선 전·후 성능 평가를 위하여 패널 및 슬래브에 대한 정적재하실험을 실시하였다. 실험체는 LB-DECK 패널과 슬래브로 나누어 개선 전·후 각각 2개씩 총 8개를 제작하였다.



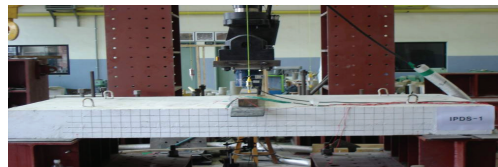
(a) LB-DECK 패널(개선 전)



(b) LB-DECK 패널(개선 후)



(c) 슬래브(개선 전)



(d) 슬래브(개선 후)

Fig. 6 재하실험

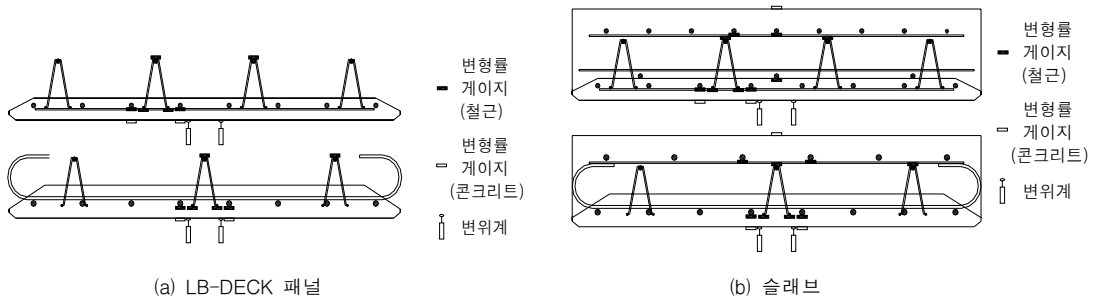


Fig. 7 실험체 게이지 부착 위치

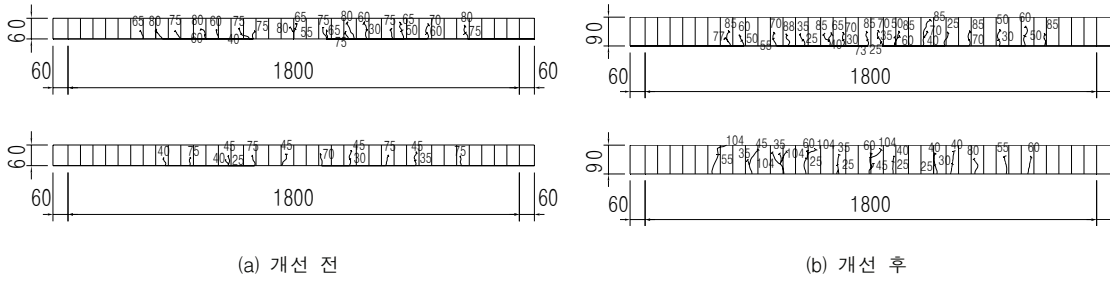


Fig. 8 LB-DECK 패널 균열 형상

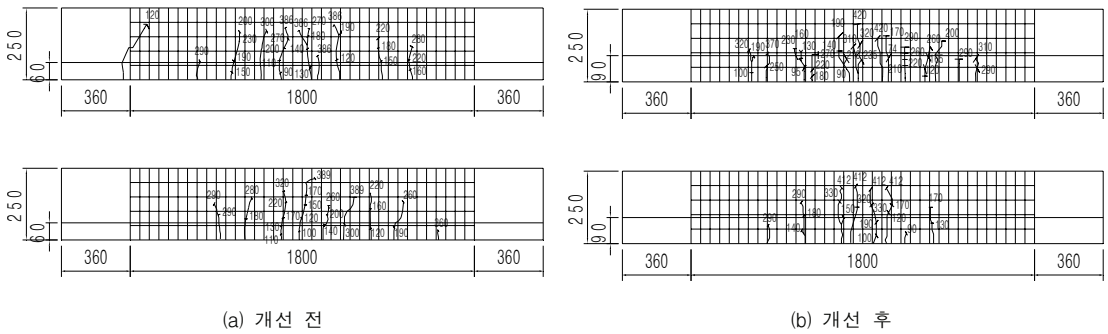


Fig. 9 슬래브 균열 형상

하중재하는 500kN 용량의 가력기를 이용하여 0.05 mm/sec의 속도로 변위제어를 하였다. 하중재하 방법은 Fig. 6에서 보는 것과 같이 LB-DECK 패널의 경우 가설하중 모사를 위하여 4점 재하를 하였으며, 슬래브의 경우 휨파괴 유도를 위하여 중앙 재하를 하였다. 본 실험을 수행함에 있어 실험체의 거동 분석을 위하여 Fig. 7에 나타난 바와 같은 위치에 LVDT 및 변형률게이지를 부착하여 처짐 및 철근의 응력상태를 파악하고자 하였으며, 각 하중 단계마다 균열을 기록하여 균열거동을 파악하였다.

4. 실험결과

4.1 균열 형상 분석

Fig. 8과 Fig. 9는 재하실험 후 각 실험체의 균열 형상을 나타내었다. 균열 형상을 살펴보면 LB-DECK 패널과 슬래브 모두 전형적인 휨파괴 형상을 나타내고 있다. Fig. 8의 LB-DECK에 대한 균열은 실험체 중

양에서 발생하여 하중 증가에 따라 상부와 측면으로 진행되었으며, 파괴하중에 이르러서는 더 이상의 균열 진행 없이 균열 폭만 넓어지면서 파괴되었다. 초기 균열하중은 개선 전·후 모두 25kN으로 나타났으며, 최대 하중은 개선 전 80kN, 개선 후 104kN으로 나타났다.

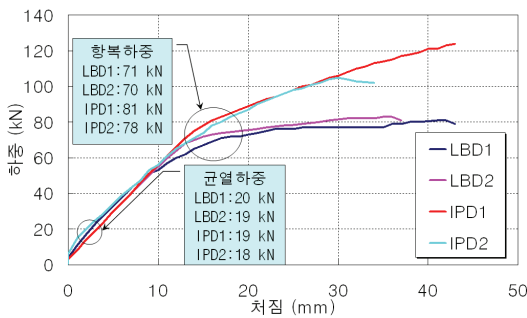
Fig. 9의 슬래브에 대한 균열은 패널과 마찬가지로 초기 균열은 실험체 중앙 하부, DECK에서 발생하여 점차 현장타설 콘크리트 부분으로 진행되는 모습이였다. 특히 DECK와 현장타설 콘크리트가 완전 합성되어 경계부분에서의 수평 균열은 발생하지 않았다. 초기 균열하중은 개선 전·후 모두 90kN이었으며, 최대 하중은 개선 전 389kN, 개선 후 420kN으로 확인되었다.

4.2 하중-처짐 분석

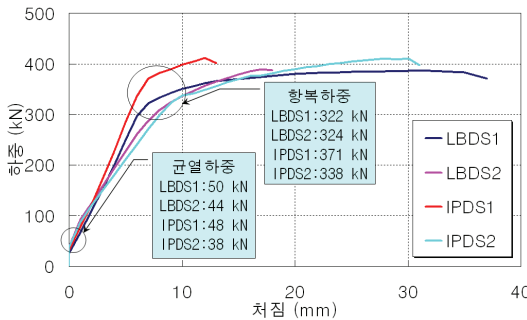
Table 6과 Fig. 10은 LB-DECK 패널과 슬래브의 하중-처짐 측정결과를 비교한 것이다. 초기균열하중을 살펴보면 LB-DECK 패널의 경우 개선 전 20kN, 19kN, 개선 후 19kN, 18kN으로 나타났으며, 슬래

Table 6 하중-변위 측정 결과

구분		균열하중 (kN)	항복하중 (kN)	처짐 (mm)
패널	개선 전	LBD1	20	71
		LBD2	19	70
	개선 후	IPD1	19	81
		IPD2	18	78
슬래브	개선 전	LBDS1	50	322
		LBDS2	44	324
	개선 후	IPDS1	48	371
		IPDS2	38	338



(a) LB-DECK 패널



(b) 슬래브

Fig. 10 하중-처짐 결과 비교

브의 경우 개선 전 50kN, 44kN, 개선 후 48kN, 38kN으로 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 초기균열하중의 경우 철근의 피복두께와 연관성이 있으며, 비록 콘크리트 단면이 6cm에서 9cm로 변화되었으나, LB-DECK 패널에 배근된 주철근의 피복두께는 4cm로 동일하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 둘째, 항복하중에 대한 결과를 살펴보면 LB-DECK 패널의 경우 개

선 전 70kN, 71kN, 개선 후 78kN, 81kN으로 평균 약 13%의 강도가 증가되었으며, 슬래브의 경우 개선 전 322kN, 324kN, 개선 후 338kN, 371kN으로 평균 약 10%의 강도증가를 나타내고 있다. 이러한 결과는 개선 후 단면에서 하면주철근이 LB-DECK 패널 내부로 삽입되면서 내부저항모멘트의 증가, 즉 휨강성이 커지기 때문인 것으로 판단된다. 끝으로 처짐에 대한 결과 LB-DECK 패널의 경우 개선 전 44mm, 개선 후 48mm로 나타났으며, 슬래브의 경우 개선 전 37mm, 개선 후 31mm로 측정되었다.

4.3 변형률 분석

LB-DECK 패널의 주철근 및 상부격자근(top bar)에 대한 변형률 측정결과는 Fig. 11과 같다. 그래프를 살펴보면 하중이 증가함에 따라 인장을 받는 주철근과 압축을 받는 상부격자근(top bar)이 인장과 압축의 전형적인 변형률 분포를 나타내고 있다. 인장력에 저항하는 주철근의 거동을 살펴보면 개선 전의 경

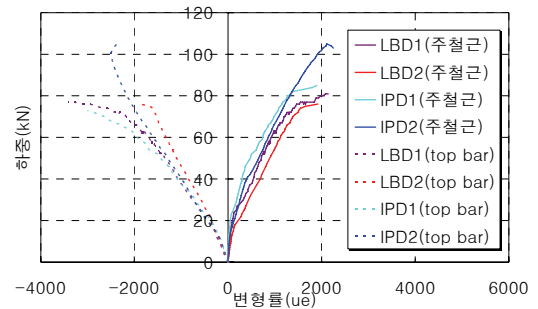


Fig. 11 패널 변형률 결과

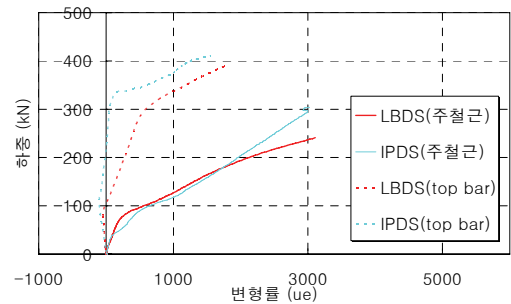


Fig. 12 슬래브 변형률 결과

우 하중 20kN 전후로 하여 변형률이 급격히 증가하여 70kN 정도에서 항복하는 것으로 나타났으며, 개선 후의 경우 하중 25kN 정도에서 변형률이 증가하여 80kN 정도에서 항복하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 강도 측면에서 본다면 변형률이 동일할 경우 개선 후 실험체가 약 14% 정도 강성 증가 효과가 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 슬래브의 주철근 및 상부격자근(top bar)의 변형률 측정 결과를 나타내었다. 그래프를 살펴보면 주철근의 경우 패널에서와 마찬가지로 뚜렷한 인장력을 받고 있다. 그러나 상부격자근(top bar)의 경우 초기 하중에선 압축력을 받고 있으나, 하중이 증가하면서 점차 인장력을 받고 있는 것으로 나타났다. 이는 LB-DECK 패널에서 압축력만 받던 상부격자근(top bar)이 현장타설 콘크리트와 합성 후 중립축의 상승으로 인하여 인장력에 저항하는 것으로 판단된다. 주철근의 항복 하중은 개선 후의 경우 조금 더 큰 하중을 받는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 영구 거푸집의 한 형태인 LB-DECK 패널에 대하여 시공 시 발생하던 철근 배근에 대한 문제점을 개선하고자 하였다. 그 결과 설계 및 경제성 분석을 통하여 새로운 LB-DECK 패널을 제안하였으며, 수치해석과 재하실험을 통하여 개선된 LB-DECK 패널의 성능 검증 및 거동 특성을 구명하고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 기존 LB-DECK 패널을 개선함에 있어 가장 큰 특징은 현장에서 배근되는 하면주철근과 하면배력근을 LB-DECK 패널내부로 매입하여 현장에서의 시공성 향상을 모색하였다는 점이다.
- 2) LB-DECK 패널의 개선 전·후 수치해석 결과 항복하중이 개선 전 80kN, 개선 후 100kN으로 개선된 단면이 우수한 하중저항성능을 보이고 있는 것으로 검토되었다.
- 3) 정적재하실험 결과 항복하중에 대하여 LB-DECK 패널의 경우 개선 후가 평균 약 13%, 슬래브의

경우도 개선 후가 평균 약 10% 정도 내하력이 증가되었음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 “중소기업청 산학협력실 지원사업”지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 노병철, 조규대, “LB-DECK의 lattice bar 높이 변화에 따른 합성거동 연구”, 대한토목학회 논문집, 제 27권 2A호, 2007, pp. 193-200.
2. 노병철, 조규대, “현장 배근이 LB-DECK 패널의 구조거동에 미치는 영향”, 한국구조물진단학회 논문집, 제12권 제3호, 2008, pp. 167-174.
3. 윤석구, 이재홍, 조선규, 정재동, 원용석, “LB-DECK을 이용한 철근콘크리트 바닥판의 편칭전단강도”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제18권 제1호, 2006, pp. 390-393.
4. 최은수, 김학수, “교량 바닥판 건설용 프리캐스트 콘크리트 패널의 거동특성”, 대한토목학회논문집, 제25권 2A호, 2005, pp. 395-404.
5. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 한국콘크리트학회, 2003.
6. British Standards Institution, The Structural Use of Concrete, C.P. 110, B.S.I, London, 1972.
7. Nawy, Edward G., Reinforced Concrete, Prentice-Hal, Inc., 2000, pp. 264-272.
8. Fintel, M., Hand Book of Concrete Engineering, pp. 53-93.
9. Plum, D. R., “Strength of Studs in Composite Construction”, Proceedings of I. C. E, Feb, 1972.
10. Prestressed Concrete Institute, Precast and Prestressed Concrete Design Handbook, 3rd Edition. Chicago, 1985, PP5-1-5-35.

(접수일자 : 2008년 8월 9일)

(심사완료일자 : 2008년 12월 15일)