

프리캐스트판을 이용한 교량상판 단면증설 보강공법에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Reinforced Effect Using Double Adhesive Panels in Bridge Deck Slabs

박정기* 하경민** 지한삼*** 김은겸****
Park, Joung Gi Ha, Kyong Min Ji, Han Sang Kim, Eun Kyum

ABSTRACT

Purpose of this study is to analyze the characteristics and reinforcement effects of restored the RC bridge deck with small precast panel through static load tests and to provide the basic information for the damaged slab decks. In the tests for realizing movement of general RC bridge slabs, 6 samples are prepared and tested. All reinforced samples are restored with 1 or 2-layers precast panels by epoxy mortar. The movement of restored slabs is analyzed and compared with the behavior of non-restored slabs.

In result of these tests, tension cracks due to bending moment are show, and after static load test there happens finally punching shear failure, which is the general type of RC bridge failure. The tests show that restoration of the RC slab results in increasing of loading capacity about 30~50% and restoring panels are stick to slab and moving with slab under loading test.

1. 서론

산업경제의 성장과 함께 급속한 교통량의 증가로 인하여 자동차 하중의 증대, 작용빈도의 증가에 따라 교량상판이 파손되는 사례가 급증하고 있다. 교량에서 파손된 RC상판을 교체하기 위해서는 장기간 차량통행을 금지시키거나 일부의 교통하중을 통제해야 하는 등, 원활한 교통흐름에 장애 요인이 되어 왔다. 따라서 상판을 교체하는 일반적인 공법은 막대한 경제적인 손실은 물론, 사회적인 문제를 야기시킬 수 있는 단점이 있는 것으로 지적되고 있다. 또한 교량상판을 철거할 때 발생하는 건설 폐자재는 환경문제를 유발할 수 있으며, 환경에 대한 국민 의식이 높아짐에 따라 기존의 교체 공법은 상당한 제약을 받는 상황에 이르렀다. 그러므로, 교량상판의 내하력 부족문제를 해결하기 위해서는 철거교체 보다는 보강이 바람직하며, 이 공법을 채용하는 데는 교통차단이 없도록 하거나 최소화하는데 역점을 두어야 한다.

* 정희원, (주) 대호기술단 도로부 부장

** 정희원, 서울산업대학교 토목공학과 석사

*** 정희원, (주) 한국쇼본드건설 기술부장

**** 정희원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

이와 같은 관점에서 본 연구에서는 프리캐스트판을 이용한 RC상판 상면 보강공법에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 실험에는 실제의 RC상판과 동일한 치수를 가지는 시험체를 제작하여 재하시험을 실시하였으며, 이들 결과를 토대로 본 공법의 역학적 특성 및 보강효과에 대한 특성을 검토하였다.

2. 실험계획

시험체는 도로교표준시방서에 준하여 건설부에서 1979년에 작성한 교량 상부구조 표준도에 의거하여 DB-24 및 DB-18 에 대한 실물크기의 상판을 제작하였다. 실험에 사용된 RC상판의 제원은 그림 1 과 같다. DB-24 시험체와 DB-18 시험체의 두께는 각각 20cm, 18cm이며, 지간은 2m, 1.9m로 하였으며, 길이는 동일하게 2.25m로 하였다. DB-24시험체는 주철근 D16, 배력철근 D13이고 DB-18시험체는 주철근과 배력철근 모두 D16을 사용하였다.

콘크리트의 치기는 레미콘을 사용하였으며, 설계기준강도 240 kgf/cm^2 , 굽은골재 최대치수는 25mm, 슬럼프는 12cm이다. 또한 철근의 인장강도 실험결과는 표 1에 표시하였으며, 보강판 규격은 그림 2와 같은 프리캐스트판(중량-9kgf)을 사용하였다. 보강판의 역학적 성질은 표 2에 표기하였다. 보강판과 콘크리트의 접착제는 주재: 경화제: 규사를 3: 1: 8~12로 배합한 에폭시 수지 모르타르가 사용되었고, 콘크리트와의 부착강도는 31.6 kgf/cm^2 이며, 역학적 성질은 표 3과 같다.

그림 1 시험체의 형상 및 제원

그림 2 보강판 규격

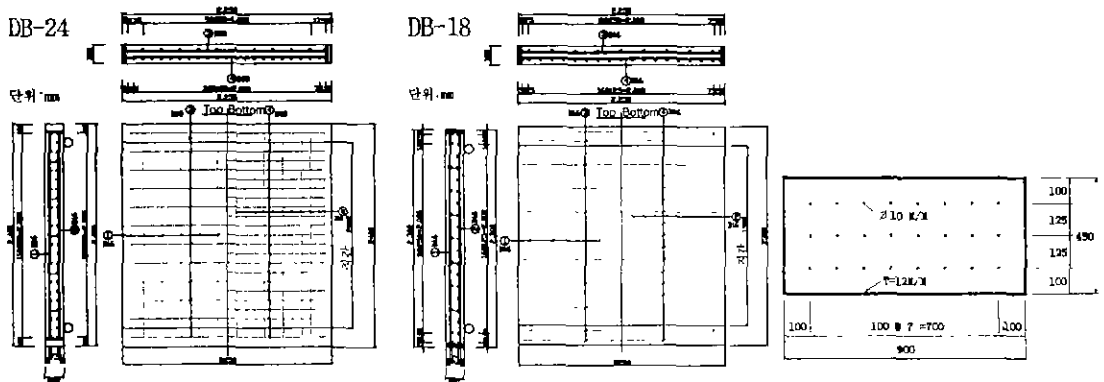


표 1 철근의 역학적 성질

표 2 보강판의 역학적 성질 (단위:kgf/cm²)

물성 재료	항복강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	항복변형률 (10 ⁻⁶)
D 16	3,219	4,883	1.73×10^6	2,500
D 13	3,350	4,964	1.75×10^6	2,600

비 중	휨 (종방향)		압축 (면직각)		인장 (면방향)		흡 수 율 (%)	함 수 율 (%)
	휨 강도	탄성 계수	압축 강도	탄성 계수	인장 강도	탄성 계수		
2.35	240	338,000	1,420	411,000	114	340,000	0.98	0.58

표 3 에폭시 수지 모르타르의 역학적 성질

비 중	압축강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	부착강도 (kgf/cm ²)
1.75	832	240	45,300	최소, 31.6

본 실험에서는 DB-24 및 DB-18시험체를 각각 3체 제작하였다. 실험변수 및 보강방법은 표 4에 정리하였으며, 보강방법은 그림 3과 같다

표 4 실험변수 및 보강방법

시험체명	보강재	보강방법	단면증설두께(mm)	보강위치	재하방법	비고
DB-18	S1-B	-	-	-	-	기준시험체
	S1-1	프리캐스트판	보강판 1겹부착	16	상면	정적재하시험
	S1-2	프리캐스트판	보강판 2겹부착	32	상면	-
DB-24	S2-B	-	-	-	-	기준시험체
	S2-1	프리캐스트판	보강판 2겹부착	32	상면	반복재하 후 정적재하시험
	S2-2	프리캐스트판	보강판 2겹부착	32	상면	-

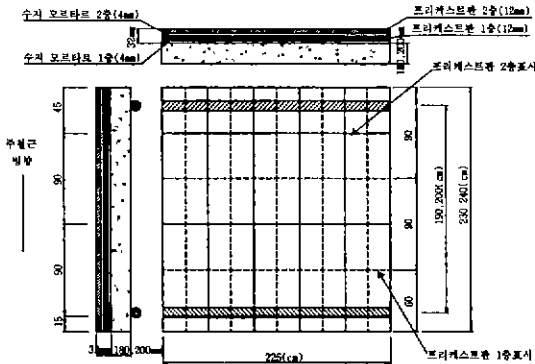


그림 3 보강방법

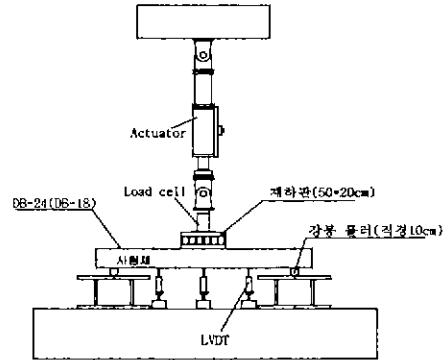


그림 4 재하방법

시험체의 내하력 평가를 위하여 그림 4와 같이 100ton용량의 Actuator를 사용하였으며, 재하판은 도로교시방서에서 제시된 차량 윤하중과 같은 접지면적(50×20cm)을 강판으로 제작하여 시험체의 중앙면에 설치하였다. 재하방법은 DB-24 시험체의 경우, 66kgf/sec의 속도로 0~25tf를 sine파로 100회 반복 재하하여 균열 발생을 유도하였다. 손상된 시험체는 프리캐스트판으로 보강하였으며 Ramp파로 파괴시까지 정적재하시험을 수행하였다. 또한, DB-18시험체는 20kgf/sec(sine파)의 속도로 30tf까지 0 → 5tf → 0 → 10tf → 0 → 15tf → 0 → 30tf → 0의 사이클로 재하하고, 이후 ramp파로 파괴시까지 가력하였다. 사진 1은 상판 시험체에 대한 재하 광경을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

보강효과는 표 5 와 같이 DB-18 시험체의 경우 무보강 시험체(S1-B) 보다 1점 보강(S1-1)시 1.33배, 2점 보강(S1-2)시에는 1.54배의 내하력 증가를 나타내었다. 또한, DB-24 시험체는 무보강 시험체(S2-B)에 비해 S2-1, S2-2에서 1.29~1.36배의 내하력이 증진되었다. 특히, 극한하중 부근에서 콘크리트 및 인장철근의 변형률이 모두 극한변형률 이하의 값을 나타내고 있고, 재하시험시 상판의 파괴 형상 등을 고려할 때, 상판 시험체는 편칭전단 파괴를 일으키고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 균열발생 상태를 나타낸 것으로서, 초기에는 1방향 휨균열이 발생하였으며, 재하판 주위로 2방향 균열이 진전되었다. 시험체의 최종파괴 상태는 사진 2와 같으며, 모두 재하판 위치에서 편칭전단 파괴가 일어나고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 시험체별 재하하중과 처짐과의 관계를 나타낸 것이다. 재하초기부터 보강판의 단면 증설로 인한 처짐 감소 효과가 있어 보강으로 인한 강성의 증대가 있음을 확연히 알 수 있다. 이것은, 단면증

표 1 재하 실험 결과

시험체명	철근항복시		극한하중 (tf)	보강효과 (%)	파괴형태
	작용하중(tf)	Con'c 변형률(μ)			
DB-18	S1-B	32.7	1481	43.3	punching shear failure
	S1-1	43.5	809	57.4	
	S1-2	53.5	910	66.6	
DB-24	S2-B	40.1	1789	53.4	punching shear failure
	S2-1	60.7	599	72.5	
	S2-2	55.8	497	69.0	

()는 철근항복시의 하중에 대한 보강효과를 의미함.

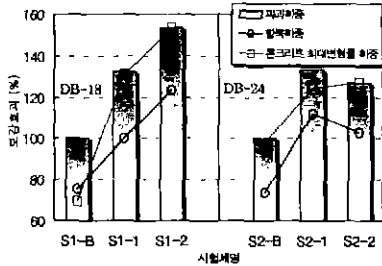


그림 5 보강 효과 비교

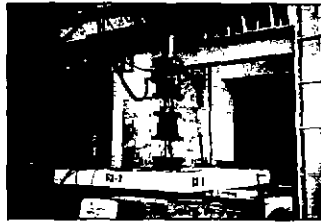


사진 1 시험체의 재하광경

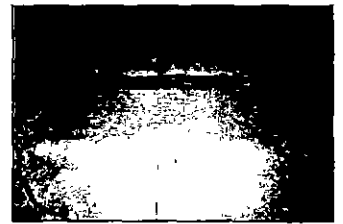
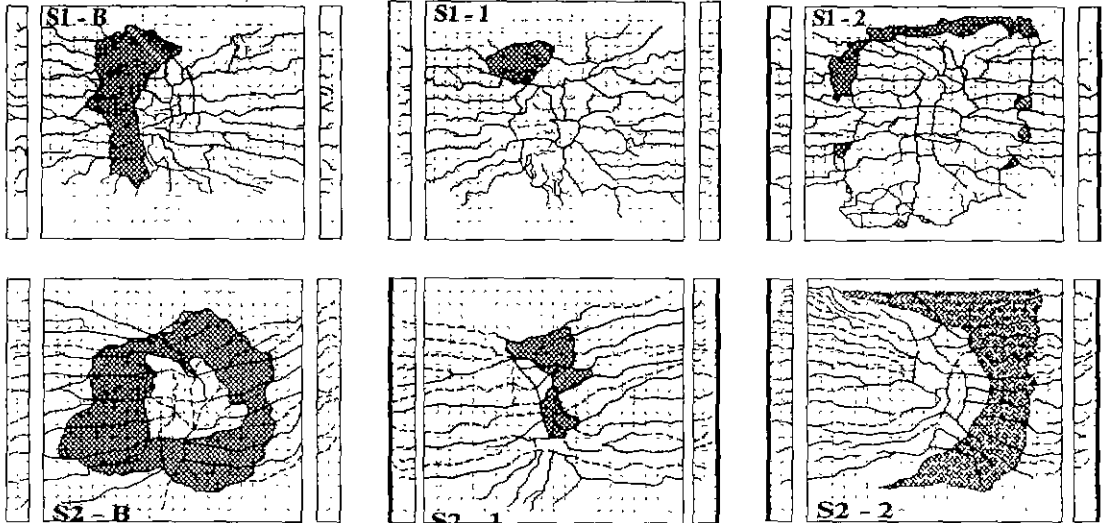


사진 2 상면 펀칭전단 파괴



주) DB-24시험체의 점선균열은 Pre-loading시 발생된 균열이며, 빗금친 부분은 탈락된 부분임.

그림 6 균열 발생 양상 및 파괴 형태

설로 인한 단면 2차 모멘트의 증가와 보강판 자체의 큰 강성에 의해 나타난 효과임을 알 수 있다. 또한, 재하초기부터 종료시까지 상판 콘크리트와 프리캐스트판의 접촉부가 박리되는 일없이 일체로서 거동하고 있음을 확인하였으며, 100회 반복재하의 경우에 있어서도 이와 같은 박리 현상은 발생하지 않았다.

그림 8은 재하하중과 인장축 주철근의 변형률과의 관계를 도시한 것이며, 그림 9는 인장축 주철근의 변형률을 위치별로 나타낸다. 이 그림으로부터 주철근의 변형률은 제하판 부근에서 가장 큰 값을 나타

내고 있으며, 또한 무보강 시험체에 비해 보강된 시험체의 경우가 철근의 변형률이 작아지고 있다. 이와 같은 현상은 프리캐스트 보강판에 의한 상판 보강효과를 나타내주고 있는 것으로서 보강에 의해 상판의 강성이 증가하고 있음을 의미한다.

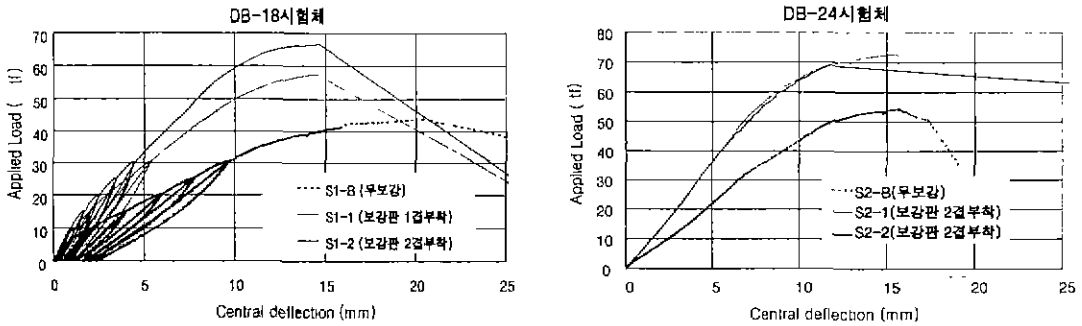


그림 7 시험체별 재하하중-중앙처짐 관계

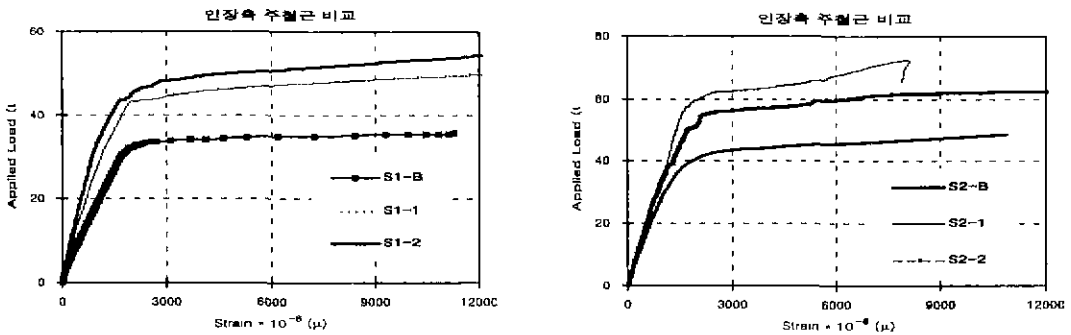


그림 8 시험체별 재하하중-변형률 관계

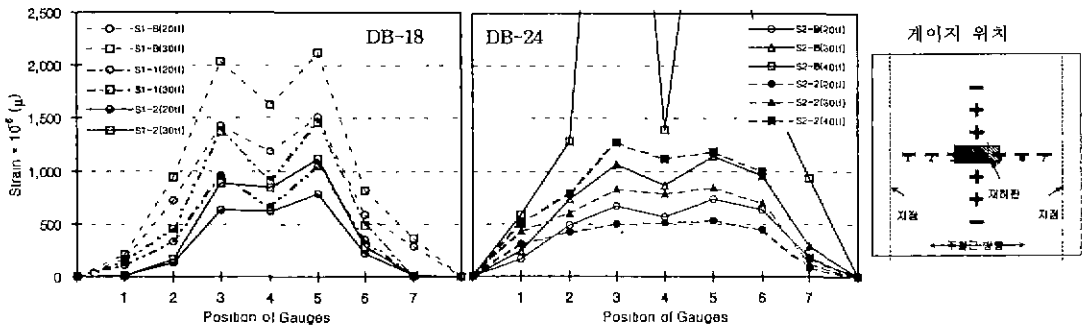


그림 9 인장철근 주철근 하중별 변형률 관계

그림 10은 DB-18 시험체에 대한 상면 압축측 콘크리트의 변형률을 나타낸 것이다. 상판 보강에 의한 압축측 콘크리트의 변형률은 매우 감소하고 있으며, 이것은 동일 위치에서의 인장철근의 변형률이 보강에 의해 감소하고 있는 것과 동일한 거동을 나타내는 것으로서 이들의 관계를 그림 11에 제시하였다. 즉 이 그림으로부터 상판은 보강에 의해 휨에 의한 곡률이 감소하고 있음을 알 수 있다. 이상에서 고찰한 바와 같이 상판은 인장철근과 콘크리트의 변형률이 극한값에 도달하기 전에 파괴되고 있으며, 보강 효과가 클수록 곡률은 작아지고 있어 상판의 파괴거동은 휨파괴가 아닌 편칭전단 파괴에 기인한 것으로 판단된다. 또한 균열양상과 파괴 형태를 고려할 때 상판은 편칭전단에 의한 전형적인 파

괴가 일어나고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 상판보강에 의한 내하력 증진은 휨내하력은 물론 편칭 전단 내하력을 증진시키는데 큰 효과를 발휘하고 있는 것으로 판단된다.

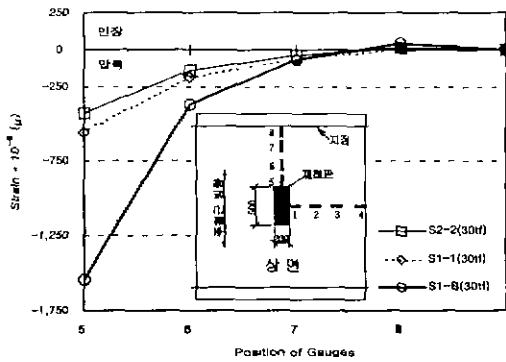


그림 10 상면위치별 재하하중-변형을 관계

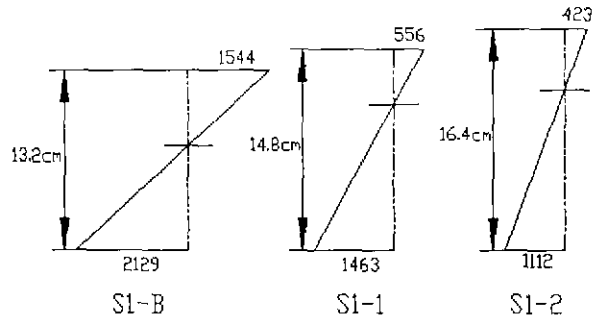


그림 11 상판 보강에 의한 곡률의 변화

4. 결론

본 연구는 손상된 RC상판의 편칭전단에 대한 내하력을 증진시킬 목적으로 보강용 프리캐스트판을 실물 크기의 상판에 접착하여 재하실험을 실시하였으며, 그의 역학적 특성 및 보강효과 검토 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 상판은 인장철근과 콘크리트의 변형률이 극한값에 도달하기 전에 파괴되고 있으며, 보강 효과가 클수록 곡률은 작아지고 있어 상판의 파괴거동은 휨파괴가 아닌 편칭전단 파괴가 발생한 것으로 판단된다.
- (2) 프리캐스트판을 2점 붙여 보강한 S2-1 및 S2-2 시험체는 극한하중이 69.0~72.5 tf로서 무보강 시험체의 극한하중 53.4 tf에 비해 1.29~1.36배 정도의 보강 효과가 있음을 알 수 있다.
- (3) DB-18의 시험체 S1-1(프리캐스트판 1점 보강)의 극한하중은 57.4tf로서 무보강 시험체 S1-B의 43.3tf에 비해 1.33배 보강 효과가 있으며, S1-2(프리캐스트판 2점 보강)의 경우에는 1.54배의 보강 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (4) 이상의 검토 결과, 프리캐스트판에 의한 상판보강은 전단 내하력을 증가시키는데 탁월한 효과를 가지고 있으며, 하중증가에 따른 콘크리트 및 철근의 변형률 증가를 둔화시켜 줌으로써 휨보강에도 유효한 성능을 가지고 있는 것으로 확인되었다.

참고문헌

- 1) 건설부 제정 “교량 상부구조 표준도”, 1978. 8
- 2) (社) 土木學會, “第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集”, 平成10年11月, pp 305~316
- 3) 日本道路公團名古屋古堂管理局, “D-RAP 工法施工マニコアル(案)”, 平成10年度
- 4) 村山貴之外3人, “D-RAP工法の補強効果に關する2、3の檢討”, 콘크리트工學年次論文報告集, 1996
- 5) 松井繁之外2人, “RC床版とその損傷(その2)”, 橋梁と基礎 98-6, pp 47~50
- 6) 作花裕二, “D-RAP工法による上尾陸橋修繕工事”, 工事・工法レポート, pp. 10~13
- 7) Azad, A. K.외 4명, “Loss of Punching Capacity of Bridge Deck Slabs from Crack Damage”, ACI Structural Journal, Vol. 90, No. 1, Jan - Feb, 1993. pp. 37~41