

표면매립공법으로 휨보강된 RC보의 부착파괴 방지 상세에 대한 실험연구

An Experimental Study to Prevent Debonding Failure of RC Beams Strengthened with Near Surface Mounted CFRP

정 우 태* 박 종 섭** 유 영 준* 박 영 환*** 강 재 윤**
Jung, Woo Tai Park Jong Sup You Young Jun Park Young Hwan Kang Jae Yoon

ABSTRACT

This paper presents test results to prevent debonding failure of reinforced concrete beams strengthened with near-surface mounted(NSM) CFRP. Beams strengthened with different strengthening systems with externally bonded CFRP, NSM CFRP and NSM CFRP with mechanical interlocking. Test results indicated that using NSM CFRP is improved the stiffness and increased the flexural capacity of RC beams and NSM CFRP with mechanical interlocking prevented debonding failure of RC beams.

1. 서론

Fiber-Reinforced-Polymer(이하 FRP) 보강재는 기존 구조물의 보수 및 보강뿐만 아니라 신설구조물의 철근을 대체할 재료로 최근에 광범위하게 사용되고 있다. 외부에 부착되는 FRP 쉬트 및 판은 콘크리트 보와 슬래브의 휨 및 전단보강을 목적으로 현재 사용되는 가장 일반적인 기술이다. 많은 경우에 있어서 외부에 부착된 FRP 쉬트 및 판의 파괴는 FRP와 콘크리트 계면에서 부착파괴와 같은 조기 파괴가 발생하는 문제점이 대두되었다(한국건설기술연구원, 2003). 또한 외부에 부착된 FRP는 차량의 충돌, 화재 등으로부터 손상을 받을 수 있고, 이러한 손상에 대한 보호장치가 불충분하면 구조물의 사용수명이 감소할 수 있을 것이다. 이러한 문제를 최소화하고 FRP 재료의 이용가치를 향상시키기 위해 표면매립공법(Near Surface Mounted Strengthening)이 도입되었다.

표면매립공법은 FRP 리바나 판을 미리 제작된 홈 안에 고강도 에폭시나 그라우트를 사용하여 부착시키는 공법이며, 외부 부착되는 공법과 같이 표면준비작업이 필요하지 않다. 표면매립공법의 사용은 콘크리트 덮개 깊이에 따라 좌우되며 FRP 보강재는 시공 후에 차량 충돌 등의 기계적인 손상으로부터 보호될 수 있다(R.EI-Hacha, 2004).

* 한국건설기술연구원 연구원

** 한국건설기술연구원 선임연구원

*** 한국건설기술연구원 수석연구원

본 연구에서는 표면매립공법을 사용하여 휨거동특성 및 보강성능을 검토하고 외부 부착방식의 문제점인 부착파괴를 방지하기 위해 표면매립공법에 기계적 맞물림 효과(Mechanical Interlocking)를 추가하여 거동특성을 고찰하였다.

2. 표면매립공법의 휨보강 성능 실험

2.1. 시편 제작 및 보강

실험을 위하여 제작된 보시편의 제원은 그림 1과 같으며, 28일 설계기준강도 27MPa의 레미콘을 사용하여 제작하였다. 인장철근은 SD40의 D10 철근을 철근비 0.0041로 배근하였으며, 압축철근에는 D13을 세 가닥 배근하였다. 전단파괴를 방지하기 위하여 전단 구간에는 D10의 전단철근을 10cm 간격으로 배치하였다. 인발성형으로 제작된 탄소판을 부착공법 및 표면매립공법에 사용하였다. 부착공법에 의한 보강은 표면처리 후 프라이머 도포 및 보강재 부착의 공정으로 실시하였으며, 보강된 보는 예폭시의 양생을 위하여 상온에서 7일 이상 양생을 실시하였다. 표면매립공법은 그라인더를 이용하여 보 하단에 홈을 시공하고 접착제를 도포한 후 보강재를 매립하는 공정으로 보강하였으며, 보강된 보는 3일 이상의 양생을 실시하여 접착제로 사용된 예폭시가 설계강도를 발휘할 수 있도록 하였다. 보강에 사용된 주요 재료의 물성은 표 1과 같다.

표 1. 주요 재료의 물성

재료	항목	물성값
콘크리트	공시체 압축강도(MPa)	31.3
	인장철근	
(HD10)	항복강도(MPa)	426
	인장강도(MPa)	562
압축철근	항복강도(MPa)	481
	(HD13)	인장강도(MPa)
탄소판	두께(mm)	1.4
	인장강도(MPa)	2452.59
	탄성계수(GPa)	165.49
	극한변형률(%)	1.48
탄소리바	공칭직경(mm)	9
	인장강도(MPa)	1878
	탄성계수(GPa)	121.42
	극한변형률(%)	1.55

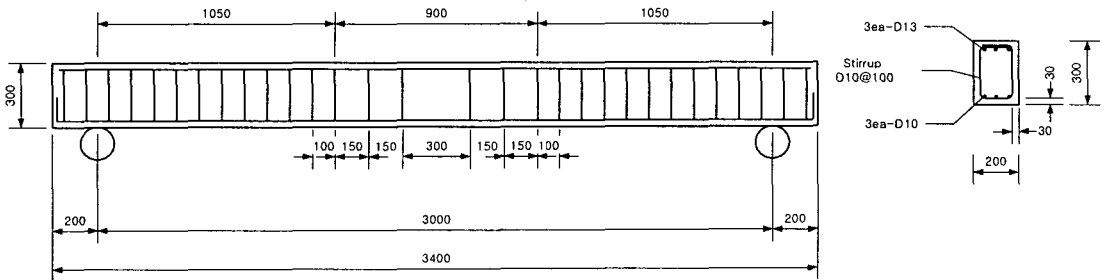


그림 1. 시편 제원(단위 : mm)

2.2. 실험변수

실험변수는 보강재의 보강방법으로 설정하였으며, 또한 부착방지를 위한 기계적 맞물림 효과를 얻기 위해 그림 2와 같이 보 하단에 부착파괴에 저항할 수 있는 기계적 맞물림을 같은 전단면적을 가지고 폭 및 배치를 다르게 설정하였다. 각 실험변수명 및 해설은 표 2에 나타내었다.

표 2. 실험변수 및 해설

변수명	보강방법	비고
CONTROL	무보강	-
CPL-50-BOND	부착	-
NSM-PL-25	25mm매립	25mm 돌출됨/홈크기 : 10×25
CRD-NSM	매립	홈크기 : 20×25
PL-MI-LP	25mm매립	MI 개수 : 12개, 폭: 20mm,
ROD-MI-LP	매립	간격: 재하점 및 중앙에 집중
PL-MI-40	25mm매립	MI 개수 : 6개, 폭: 40mm,
ROD-MI-LP	매립	간격: 400mm
PL-MI-20	25mm매립	MI 개수 : 12개, 폭: 20mm,
ROD-MI-LP	매립	간격: 200mm

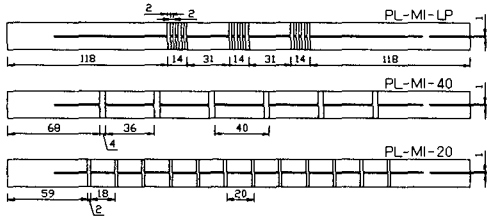


그림 2 MI 변수(기계적 맞물림, Plate형/단위 : cm)

2.3. 재하 및 측정방법

실험체에 대한 재하는 4점 재하방법을 선택하였으며, 980kN 용량의 UTM을 사용하여 재하하였다. 하중은 변위제어로 초기 15mm 변위발생시까지 초당 0.02mm의 속도로 재하하고, 15mm 이상의 변위가 발생한 시점부터 파괴시까지 초당 0.05mm의 속도로 재하하였다. 각종 실험데이터의 계측은 정적데이터 로거 및 컴퓨터를 이용하였으며, 매 1초 간격으로 측정을 실시하였다.

변형률 측정을 위하여 인장철근에는 경간 중앙과 L/4 위치에 전기저항식 변형률 게이지를 매설하였으며, 경간 중앙의 측면에는 최상단과 최상단에서 5cm, 10cm 아래에 콘크리트 게이지를 부착하였다. 또한 경간 중앙과 가력점 하단부 보강재에도 변형률 게이지를 부착하여 하중단계별 변형률을 계측하였다.

2.4. 실험결과

재하실험 결과 부착공법과 매립공법은 다른 파괴모드를 나타내었다. 무보강 기준보인 CONTROL 실험체의 경우에는 인장철근 항복 후에 압축콘크리트가 파괴되는 전형적인 휨파괴 양상을 나타내었으며, 부착공법에 의해 보강된 CPL-50-BOND 실험체는 인장철근 항복 후에 계면에서의 부착파괴시에 최대하중을 발현하는 것으로 나타났다. 매립공법으로 보강된 NSM-PL-25는 인장철근 항복 후 돌출된 25mm 보강재가 먼저 파단된 후, 삽입된 25mm로 저항하다가 최종적으로 압축측 콘크리트가 파괴되면서 에폭시+보강재가 탈락되어 실험이 종료되었다. CRD-NSM은 홈에 삽입된 에폭시+보강재가 빠져나오면서 최대하중을 나타내었으며, 기계적 맞물림 시험체는 모두 보강재가 파단되는 양상을 보였다.

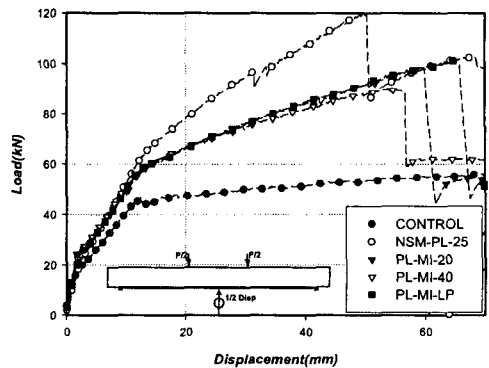


그림 3 기계적 맞물림 효과(탄소판)

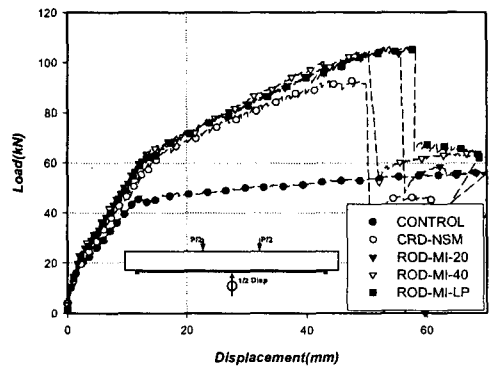


그림 4 기계적 맞물림 효과(탄소리바)

표 3. 항복하중 및 최대하중

변수명	항복			최대		
	하중(kN)/P _y	변위(mm)/D _y	P _y /P _{y_CONTROL}	하중(kN)/P _u	변위(mm)/D _u	P _u /P _{u_CONTROL}
CONTROL	46.69	12.48	-	56.19	71.68	-
CPL-50-BOND	61.04	10.52	1.31	73.24	16.00	1.30
CRD-NSM	61.96	14.70	1.33	92.63	43.88	1.65
NSM-PL-25	66.40	14.06	1.42	120.76	49.92	2.15
PL-MI-20	58.40	13.54	1.25	98.72	59.8	1.76
PL-MI-40	57.53	12.96	1.23	90.35	53.86	1.61
PL-MI-LP	59.00	13.18	1.26	101.53	65.5	1.81
ROD-MI-20	62.54	13.88	1.34	106.20	53.84	1.89
ROD-MI-40	63.58	13.44	1.36	104.79	50.3	1.86
ROD-MI-LP	62.79	13.96	1.34	106.02	58.02	1.89

부착공법은 보강재 성능의 30%만 발휘하였으며, 매립공법은 보강재 성능의 87% 이상 발휘한 것으로 나타나 매립공법이 보강재 활용면에서 우수한 것으로 나타났다. 그러나 최종 파괴가 보강재+에폭시가 흠에서 탈락하는 부착파괴로 나타나 여전히 문제점을 가지고 있었다.

MI(기계적 맞물림) 변수로 보강한 실험체는 모두 보강재가 파단하여 부착파괴의 문제가 해결되었고, 보강성능은 탄소판과 탄소리바 모두 MI-LP, MI-20, MI-40 순으로 나타났다.

3. 결론

부착파괴 방지를 위한 표면매립공법의 성능 실험 결과로 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 표면매립공법은 부착공법보다 보강재의 활용도 면에서 우수한 것으로 나타났다.
- (2) 표면매립공법은 FRP 보강재를 효율적으로 활용하여 보강성능은 향상되나 보강재+에폭시가 탈락하는 부착파괴 양상을 나타내므로, 부착공법의 문제점을 가지고 있는 것으로 나타났다.
- (3) 기계적 맞물림 변수로 실험한 결과에 의하면 부착파괴 방지에 탁월한 것으로 나타났다. 따라서, 향후 기계적 맞물림에 대한 최적의 전단면적 및 배치에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 노후 교량의 성능향상 기술 개발의 3차년도 연구 과제 지원금에 의해 수행된 것입니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 노후 교량의 성능향상 기술 개발, 2003
2. R.EI-Hacha, "Effectiveness of Near Surface Mounted FRP Reinforcement for Flexural Strengthening of Reinforced Concrete Beams", Advanced Composite Materials in Bridges and Structures 4th International Conference, 2004