

# NSM 보강 RC 보의 보강상세에 대한 실험

## An Experimental Investigation on Strengthening Details of RC Beams Strengthened with NSM Reinforcements

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 on strengthening details of reinforced concrete beams strengthened with near-surface mounted(NSM) CFRP rod and strip. A total of 8 specimens have been tested. The specimens can be classified into the same strengthening area group and the different spacing group. For the same strengthening area group, experimental results revealed that specimens strengthened with NSM CFRP strips improved the flexural capacity of RC beams. For the different spacing group, the flexural capacity of RC beams was almost the same, but it was different in case of NSM CFRP rods.

### 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 로드나 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 표면매립공법으로 보강한 RC보의 보강상세에 따른 휨 거동특성을 고찰하기 위해 같은 보강량으로 보강단면을 다르게 했을 경우와 홈 간격을 다르게 했을 경우에 대해 실험하였다.

## 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 전단구간에는 D10의 전단철근을 10cm 간격으로 배치하였다. 인발성형으로 제작된 CFRP 판과 상용중인 CFRP 로드를 부착공법 및 표면매립공법에 사용하였다. 부착공법에 의한 보강은 표면처리 후 프라이머 도포 및 보강재 부착의 공정으로 실시하였으며, 보강된 보는 에폭시의 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 에폭시가 설계강도를 발현할 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 (HD13)	항복강도(MPa)	481
	인장강도(MPa)	608
CFRP 판	두께(mm)	1.4
	인장강도(MPa)	2452.59
	탄성계수(GPa)	165.49
	극한변형률(%)	1.48
CFRP 로드	공칭직경(mm)	9
	인장강도(MPa)	1878
	탄성계수(GPa)	121.42
	극한변형률(%)	1.55

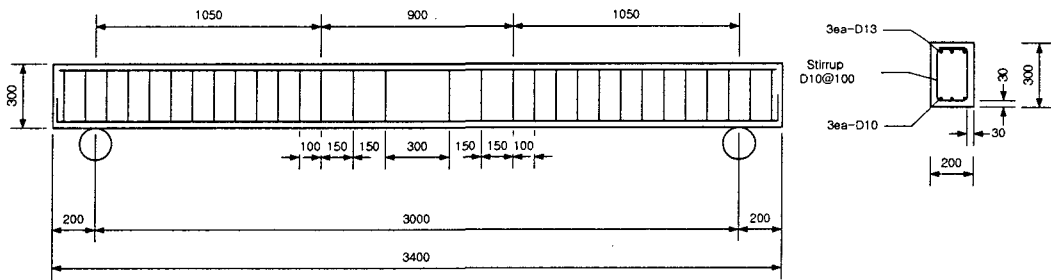


그림 1. 시편 제원(단위 : mm)

표 2. 실험변수 및 해설

변수명	보강방법	비고
CONTROL	무보강	-
CPL-50-BOND	부착	50mm 표면 부착
NSM-PL-25	25mm매립	25mm 돌출됨/홈크기 : 10×25
NSM-PL-S	매립	홈크기 : 10×25, 홈간격 : 60
NSM-PL-2S	매립	홈크기 : 10×25, 홈간격 : 120
CRD-NSM	매립	홈크기 : 20×25
NSM-RD-S	매립	홈크기 : 20×25, 홈간격 : 50
NSM-RD-2S	매립	홈크기 : 20×25, 홈간격 : 100

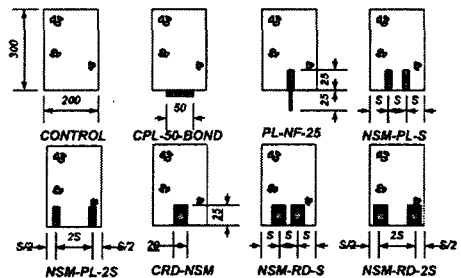


그림 2. 시편 단면(mm)

## 2.2. 실험변수

CFRP 판으로 보강한 실험체는 같은 보강량을 가지고 부착 및 매립 등으로 보강단면을 다르게 보강한 경우와 홈의 간격을 다르게 보강한 경우로 설정하였다. CFRP 로드로 보강한 실험체는 홈의 간격만 변수로 설정하였다. 각 실험변수 및 해설은 표 2에 나타냈고, 보강단면은 그림 2와 같다..

## 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, 경간중앙의 측면에는 최상단과 최상단에서 5cm, 10cm 아래에 콘크리트 게이지를 부착하였다. 또한 경간 중앙과 가력점 하단부 보강재에도 변형률 게이지를 부착하여 하중단계별 변형률을 계측하였다.

## 2.4. 실험결과

CPL-50-BOND는 전형적인 부착보강의 보의 거동을 보였고, 무보강보에 비하여 30%정도의 보강효과를 나타냈다. 매립보강된 NSM-PL-25, NSM-PL-25\*2는 무보강보에 비하여 최대하중이 각각 115%, 95% 증가한 것으로 나타났다. 그러나 파괴모드는 NSM-PL-25는 돌출된 부분이 파단되면서 25mm 매립된 보의 거동을 보이며 파단된 반면에, NSM-PL-25\*2, NSM-PL-2S, CRD-NSM, NSM-RD-S, NSM-RD-2S는 보강재와 에폭시가 함께 떨어지는 파괴를 보였다.

같은 보강량으로 보강상세를 바꿔 실험한 결과, 그림 5와 같이 부착보다는 매립이 더 효과적이며 보강량을 반만 삽입한 경우와 두 개로 삽입한 경우의 최대 강도는 반만 삽입한 경우가 10% 더 크게 나타났다. 판형의 경우, 보강재 간격이 두 배로 늘어났음에도 불구하고 NSM-PL-2S와 NSM-PL-25\*2의 최대하중은 약 1%정도 차이를 보이므로 간격에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다. 이것은 그림 3에서와 같이 에폭시 주변 콘크리트가 파괴되는 영향면적이 FRP 판으로 보강했을 경우 서로 겹치지 않아 파괴 시까지 서로의 성능을 발휘했을 것으로 추측할 수 있다. 로드형의 경우, 최대하중은 보강량이 증가할수록 보강재의 간격이 넓을수록 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 FRP 판 보강재 간격 변수와는 상이한 결과이다. 홈 주변의 파괴면적을 일정하다고 가정하면, FRP 판에 적용된 홈의 폭은 1cm로서 파괴면적이 서로 겹치지 않아서 보강재의 성능을 어느 정도 발휘한 것으로 생각할 수 있다. FRP 로드에서 적용된 홈의 폭은 2cm로 에폭시 주변 콘크리트의 파괴면적이 그림 4와 같이 파괴면적이 서로 겹쳐서 보강재의 성능을 채 발휘하기 전에 파괴가 된 것으로 추측되며, NSM-RD-2S의 경우는 보강재 간의 간격이 넓어 파괴면적이 겹치지 않아 성능을 발휘하고 파괴된 것으로 판단된다.

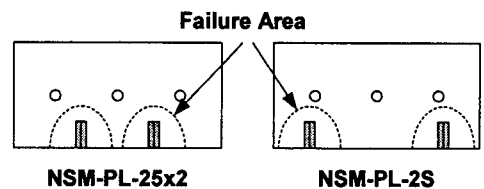


그림 3. FRP 판의 파괴면적

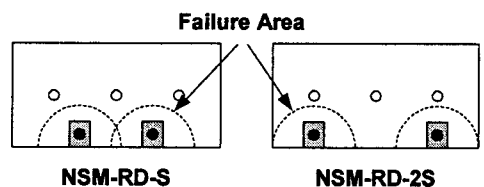


그림 4. FRP 로드의 파괴면적

표 3. 항복하중 및 최대하중

변수명	항복			최대			파괴모드
	하중(kN)/P <sub>y</sub>	변위(mm)/D <sub>y</sub>	P <sub>y</sub> /P <sub>y-CONTROL</sub>	하중(kN)/P <sub>u</sub>	변위(mm)/D <sub>u</sub>	P <sub>u</sub> /P <sub>u-CONTROL</sub>	
CONTROL	46.69	12.48	-	56.19	71.68	-	압축파괴
CPL-50-BOND	61.04	10.52	1.31	73.24	16.00	1.30	부착파괴
NSM-PL-25	65.96	13.88	1.41	120.76	49.92	2.15	에폭시+콘 크리트 부착파괴
NSM-PL-25*2	71.96	16.46	1.54	109.66	46.92	1.95	
NSM-PL-2S	70.49	14.16	1.51	107.03	44.44	1.90	
CRD-NSM	62.58	15.36	1.34	92.63	43.88	1.65	
NSM-RD-S	77.57	15.22	1.66	112.45	39.50	2.00	
NSM-RD-2S	77.26	15.4	1.65	149.63	54.19	2.66	

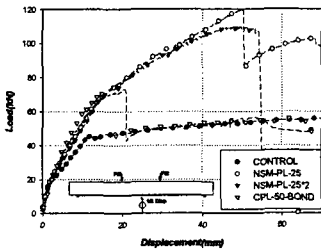


그림 5. 실험체별 하중-변위곡선  
- 보강단면별

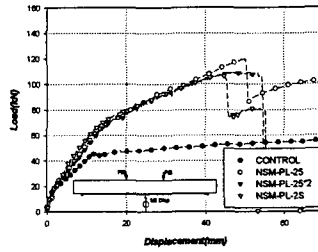


그림 6. 실험체별 하중-변위곡선  
- CFRP 판

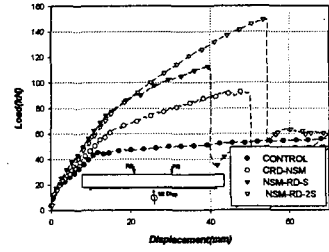


그림 7. 실험체별 하중-변위곡선  
- CFRP 로드

### 3. 결론

표면매립공법으로 보강한 RC보의 보강상세 실험 연구로 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) CFRP 판형의 경우, 같은 보강량으로 보강상세를 바꿔 실험한 결과 부착보다는 매립이 더 효과적이며 보강량을 반만 삽입한 경우와 두 개로 삽입한 경우의 최대 강도는 반만 삽입한 경우가 10% 더 크게 나타났다.
- (2) CFRP 판형의 경우, 보강재 간격이 두 배로 늘어났음에도 불구하고 최대하중은 약 1%정도 차이를 보이므로 간격에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다.
- (3) CFRP 로드형의 경우, 보강재 간격이 좁은 시험체가 넓은 시험체보다 최대하중이 작게 나타났다. 이것은 파괴면적이 서로 겹쳐서 보강재의 성능을 채 발휘하기 전에 파괴가 된 것으로 추측된다.

### 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