

노치를 이용한 보강재의 부착력 증가 방안에 관한 연구

A Study to Improve Bonding Strength with Notch in Strengthening Plate

한 만 엽*
Han, Man Yop

송 병 표**
Song, Byeong Pyo

ABSTRACT

Recently, many strengthening methods are developed and used to rehabilitate existing structure. One of the popular methods is the strengthening with steel plate. But steel plate have a defect that is a debonding at the end of the steel plate due to stress concentration.

The objective of this paper is an experimental study for improving bonding properties of a strengthening plate. The two normally reinforced beams and ten strengthened beams steel plate, which has various notches were tested.

The test results show that the notches of strengthening plate improve post-yield behavior significantly compared. It is proved that the notch in a strengthening plate increase of ultimate strength after the yield strength 9% more than ordinary strengthening method.

1. 서론

구조물의 안전성과 사용성의 증대를 위하여 부착식 보강재에 의한 구조물의 보강연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 부착식 보강재로 쓰이고 있는 강판 보강의 경우 구조물의 단면증가가 거의 없이 사용기간 중에도 시공할수 있다는 장점 때문에 널리 쓰이고 있는 공법이지만, 기존의 연구결과에 의하면 보강재 단부에서의 응력집중으로 인한 수평균열이 급작히 중앙부로 진전되어 부재가 극한 내력을 발휘하기 전에 보강재의 분리에 의해 최종적인 파괴에 도달하게 된다.

본 연구에서는 보강재인 강판 단부에서의 응력집중을 감소시켜 하중을 지속적으로 받아주기 위한 방법으로 강판 중앙의 양측을 일정한 깊이의 반원형, 삼각형, 사다리꼴형, 단부용접 등의 다양한 노치 형태로 가공하여 부착면적을 확대시킨 시험체를 제작하였다. 이러한 변수에 의한 실험결과를 시험체의 항복하중 이후의 최대하중까지의 증가율, 파괴형태, 하중-처짐, 최종 파괴균열 형상 등에 대하여 기존의 방법으로 보강된 시험체와 비교하고자 하였으며, 이론적인 균열하중과 항복하중은 일반적인 철근 콘크리트 보의 휨 이론에 의해 계산하였다.

*정회원, 아주대학교 토목공학과 교수

**정회원, 아주대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험

2.1 실험계획

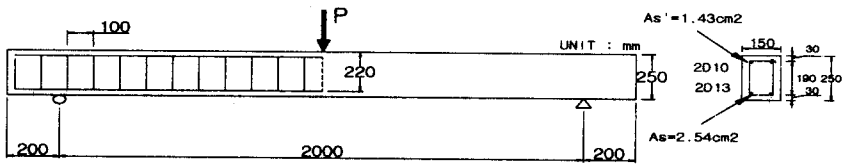


그림 1 시험체의 형상 및 제원

기준 시험체의 단면 치수 및 배근 현황은 그림 1과 같이 단면 $15 \times 25 \text{ cm}$, 유효깊이 22cm, 순지간 길이 200cm, 총길이 240cm이며, 철근은 이형철근으로서 항복강도가 3500 kg/cm^2 이며, 인장측에서는 2-D13 ($A_s = 2.54 \text{ cm}^2$), 압축측에서는 2-D10 ($A_s' = 1.43 \text{ cm}^2$)을 사용하였으며, 보강재인 강판은 2종(SS41)제품으로서 강도가 2500 kg/cm^2 이다. 에폭시의 배합비는 주재와 경화제가 무게비로 2:1인 외국의 T사 제품을 사용하였다. 하중은 중앙에서의 1점 재하이며, 보강재의 탈락이나 파단이 발생할 때까지 재하하였다. 본 시험편인 보는 전단지간이 4.5로 휨 지배를 받는 보이다.

2.2 실험 변수

시험체는 2개의 무보강 보를 기준으로 하여 강판에 보강 방법별로 10개등, 총 12개의 시험체를 제작하였다. 기존 보강 방법(FSNR)은 강판의 단부모서리를 곡면처리 하지 않은 것이며, 부착길이를 지

간의 80%인 160cm, 폭 10cm, 두께 3mm의 강판을 시험체의 인장측에 주입공법으로 부착하였다. 부착시 강판은 표면처리 하였으며, 에폭시층의 두께는 3mm이다. 노치에서는 보강재(강판)중앙에 여러 가지 형태의 노치를 적용한 것이다. 노치형상은 반원형(FSNCA), 삼각형(FSNCT), 사다리꼴형(FSNCW)등이며, 단부의 모서리는 곡면 처리하였다. 노치4(FSW)시험체는 양측 단부에서부터 내측으로 30cm 지점까지 강판을 용접하여 노치의 폭을 더욱 확대시킨 경우이다. 본 실험에서 제작된 모든 보강재의 폭은 10cm이지만 노치 형상을 적용한 보강재는 노치가 있는 곳만 10cm의 폭을 유지하여 결국, 보강재의 부착면적을 크게 한 것이다.

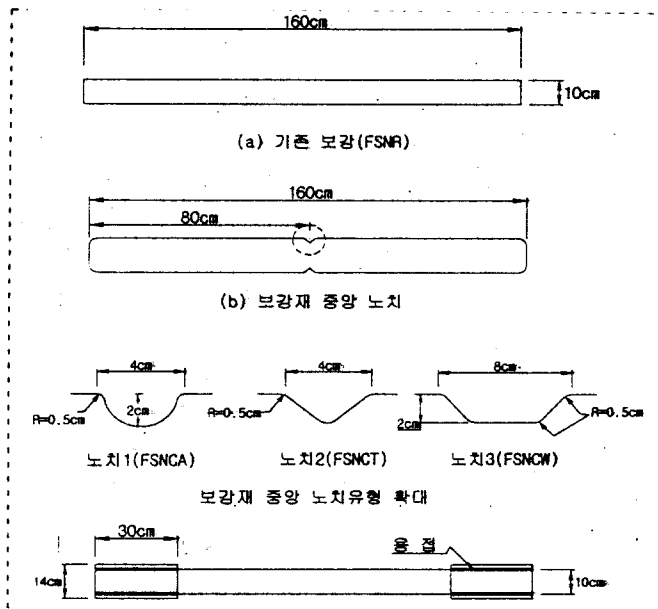


그림 2 보강재 변형도 형상

3. 실험 결과

3.1 하중-처짐 측정 결과

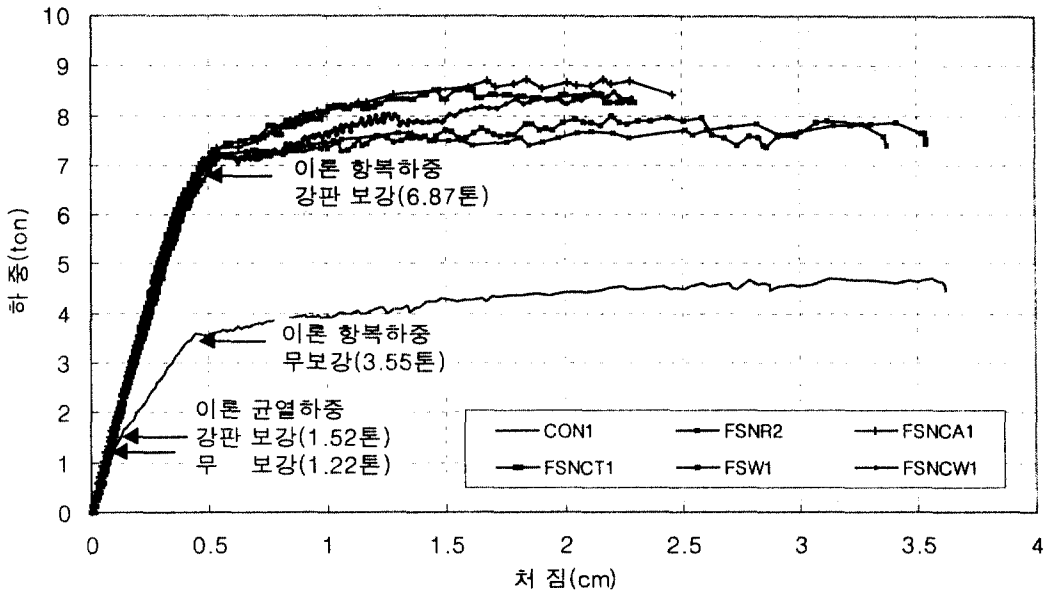


그림 3 하중-처짐 측정 결과

그림 3에는 강판 보강 시험체에 대한 하중-처짐 측정 결과를 무보강 시험체와 비교하여 나타내었다. 시험체에 대한 이론적인 균열하중과 항복하중의 산출시 실험재료의 물성과 특성은 설계기준 수치를 적용하였으며, 철근 콘크리트 보의 휨 이론에 의해 콘크리트와 에폭시, 보강재 계면이 완전히 부착되어 합성 거동을 한다는 가정하에 지간의 중심에서 보강재의 폭은 10cm로 하여 계산하였다. 단, 균열이 발생한 후에는 보강재와 인장철근이 하중을 부담하는 것으로 가정하였다.

무보강 시험체(CON)에서는 계산된 균열하중 근처에서 약간의 강성의 저하가 관측되었으나, 외관조사에서는 이보다 작은 하중에서 균열이 관측되었다. 항복하중에서는 계산된 값인 3.55톤과 거의 일치하였다. 강판 보강 시험체는 계산된 균열하중인 1.52톤 근처에서 명확한 강성의 변화를 관측하지 못하였으나, 외관조사에서는 이보다 훨씬 큰 2.0톤 이상의 하중에서 균열이 관측되기 시작하였다. 균열 하중 이후 시험체가 항복하중에 도달하기 약 85~90% 되는 하중에서 약간의 강성의 변화를 관측할 수 있는데 이는 보강재인 강판이 항복강도에 도달한 것으로 판단되며, 항복하중은 이론적 계산치인 6.87톤보다 약간 큰 7.12~7.41톤에서 관측되었다.

3.2 하중 비교 및 보강재의 파괴양상

표 1은 시험체별로 균열하중, 항복하중의 이론값과 측정값 및 최대하중의 측정값 등을 요약 정리하였다. 그림 4에서는 시험체의 최종 파괴 형태를 유형별로 제시한 것이다.

균열하중의 경우, 무보강 시험체에서는 이론값의 60%정도인 0.8톤 내외에서 균열이 관측되었으며, 강판 보강 시험체에서는 이론값보다 약 1.0톤 정도 큰 하중에서 관측되었으며, 무 보강시험체보다 200%이상 증가하여 초기 균열발생의 억제효과 면에서 향상된 것으로 나타났다. 항복하중의 비교에서

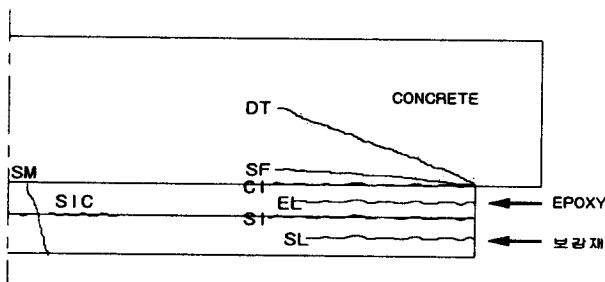
는 보강 후 약 200%정도 증가하였으며, 보강된 시험체의 이론적 항복하중인 6.87톤에 비해서는 큰 값에서 관측되었다. 최대하중에서는 기존의 방법으로 보강된(FSNR) 시험체는 항복하중에 비해 약 7%의 증가를 보이고 있으나, 부착면적을 확대시킨 시험체에서는 약 15%의 하중이 증가하는 것을 관측할 수 있었다. 이는 보강재 중앙에서의 항복하중 이후에 하중의 부담이 부착면적이 확대된 곳으로 이동하여 보의 내하력을 증가시킨 결과라 판단되며, 반원형의 노치형태인 FSNCA 시험체에서의 항복하중에서 최대하중까지의 증가율이 약 21%로서 가장 높은 것으로 나타났다.

표 1 시험체별 균열하중, 극한하중, 최대하중 비교결과

주) *는 변위계의 측정한계 이상의 처짐이 발생하여 하중 재하 중단

보강재	시험체명	균열하중(톤)			항복하중(톤) -a-			최대하중(톤) -b-			b / a	보강재의 파괴형태		
		이론치	측정치	처짐 (cm)	이론치	측정치	처짐 (cm)	측정치	평균					
										평균			평균	평균
무보강	CON1	1.22	0.8	0.060	3.55	3.59	0.447	4.67	4.45	1.30	1.27	힘파괴		
	CON2		0.7			0.057				3.40		3.49	0.429	4.23
강판보강	FSNR1	1.52	2.6	2.40	6.87	7.37	7.29	0.618	7.66	7.76	1.04	1.07	-	
	FSNR2		2.2			0.131		7.21	0.550		7.85		1.09	8)
	FSNCA1		2.9	2.75		0.167	7.33	7.22	0.533	8.72	8.71	1.19	1.21	5)
	FSNCA2		2.6			0.166	7.11		0.531	8.70		1.12		5)
	FSNCT1		2.8	2.50		0.164	7.31	7.41	0.525	8.51	8.25	1.16	1.11	-
	FSNCT2		2.2			0.123	7.51		0.529	7.99		1.06		5)
	FSNCW1		2.6	2.45		0.152	7.12	7.20	0.487	8.48	8.43	1.19	1.17	5)
	FSNCW2		2.3			0.167	7.28		0.608	8.38		1.15		5)
	FSW1		2.1	2.05		0.133	7.22	7.12	0.549	7.98	7.96	1.11	1.12	-
	FSW2		2.0			0.121	7.02		0.578	7.93		1.13		8)

그림 4에는 시험체의 파괴시 보강재의 최종 파괴 양상을 도시한 것이다. 보강 방법별 시험체의 파괴 형상을 살펴보면, 하중 재하시 시험체의 중앙 하단에 설치한 변위계의 측정한계 이상의 과도한 처짐이 발생하여 시험체의 파괴를 관측하지 못한 경우를 제외한다면, 대부분의 시험체가 주로 5)번 파괴가 주를 이루었는데, 이는 바람직하지 못한 파괴 형태로서 보강강판의 표면 가공을 더욱 거칠게 하여 에폭시와의 부착성능을 향상시킬 필요가 있다는 것을 시사하고 있다.



번호	파괴 명칭	구분
1)	콘크리트 사인장 파괴	DT
2)	콘크리트 전단 파괴	SF
3)	콘크리트 계면 파괴	CI
4)	에폭시층 파괴	EL
5)	보강재 계면 파괴	SI
6)	보강재층 파괴	SL
7)	보강재 파단	SM
8)	보강재 계면 파괴(중앙)	SIC

그림 4 보강 시험체의 최종 파괴 양상

3.4 파괴 균열 양상

그림 5에서는 파괴 후 최종 균열 상태를 도시하였다. 모든 시험체는 하중이 증가함에 따라 시험체 중앙 하단 부근에서 휨균열이 발생한 뒤 점차 그 개수가 늘어나는 경향을 나타내었다.

무보강 시험체의 경우는 일반적인 휨균열 양상을 보이고 있다. 강판으로 보강된 경우는 하중초기 단계에서는 휨균열이 발생하였으나, 항복하중의 약 85~90%의 하중점을 지나서는 이러한 휨균열은 억제되는 대신 강판단부에서 새로운 사인장 균열이 생성되어 보의 중앙 방향으로 약 45도의 각도로 진전되었다. 이러한 균열의 분포는 보강재의 물성에서 기인된 것으로서, 보강재인 강판이 항복강도에 도달한 후에 철근이 항복하고, 그 이후에 보강재는 부착력에 의해 하중을 부담하다가 단부에서의 응력 집중으로 인한 사인장 균열이 발전하여 결국 시험체가 파괴되는 것으로 판단된다.

강판 보강 시험체의 파괴 후 균열상태를 보강 유형별로 분석해보면, 기존의 보강방법인 FSNR 시험체는 다른 강판 보강 시험체보다는 상대적으로 휨균열이 주를 이루었다. FSW 시험체는 용접을 한 부분에서는 균열이 거의 발생하지 않았으며, 다른 강판 보강 시험체에 비해 균열이 중앙부에 집중되어 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 단부에서의 부착면적을 확대시킨 부분이 균열의 발생을 억제시킨 것이라 사료된다. 보강재 중앙에 노치 효과를 준 FSNCA, FSNCT, FSNCW의 균열은 소성변형이 발생한 노치부분에서의 휨 균열이 발전되다가 강판 단부에서의 새로운 사인장 균열이 발생하였다.

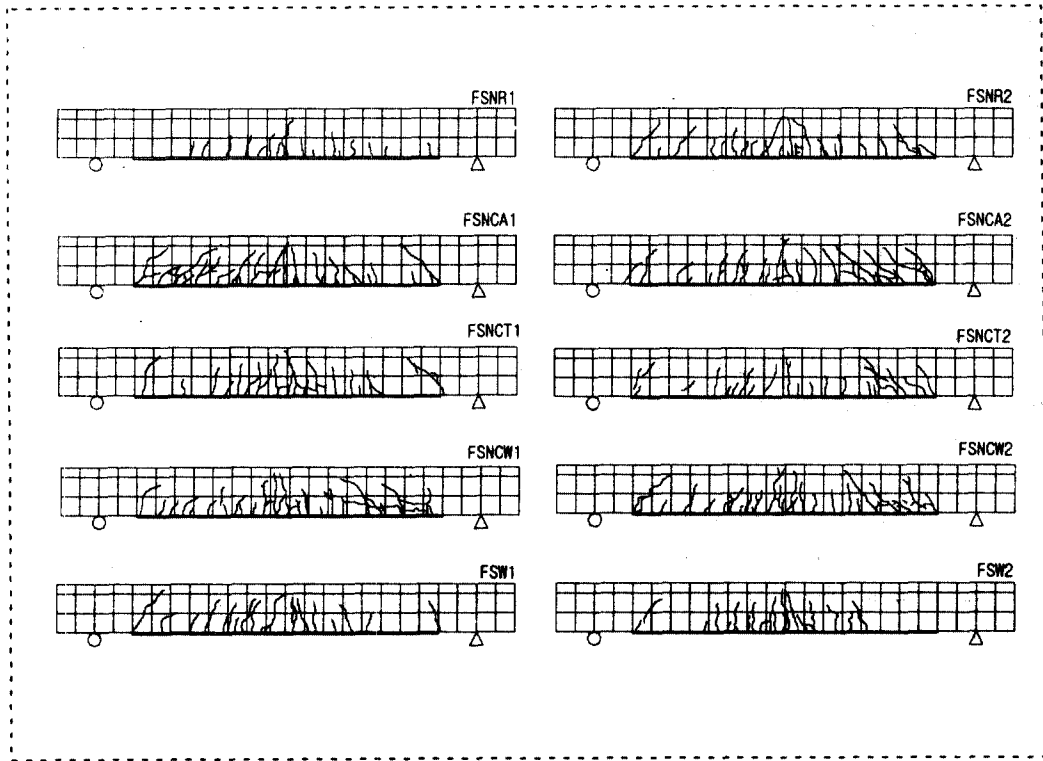


그림 5 최종 파괴 균열양상

4. 결과

강판에 의한 부착식 보강 공법의 부착 성능을 향상시키기 위하여 새로운 부착 방법인 보강재 변형 형태인 노치 방법을 제시, 검증하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 강판으로 보강된 시험체는 계산된 항복하중보다 약간 큰 하중에서 항복하중이 관측되었으며, 무보강 시험체보다는 2배이상의 하중 증가가 관측되었다.
2. 보강된 시험체의 항복하중 이후의 최대하중까지의 내하력 증가율을 분석한 결과, 기존의 보강방법보다 변형된 강판을 부착한 시험체에서 4~14%정도 향상된 것으로 나타나, 노치형태의 변형된 보강재가 내하력 증가에 영향을 준 것으로 사료된다.
3. 보강된 시험체의 경우, 균열하중 이후 항복하중의 약 85~90% 정도에서 강성의 변화가 관찰되었으며, 이 시점에서 거의 모든 보강 시험체의 보강재 단부에서 사인장균열이 발생하였다.
4. 보강 시험체의 최종 파괴양상의 비교에서는 변위계의 측정한계 이상의 과도한 처짐이 발생하여 관측하지 못한 것을 제외한다면 모든 시험체에서 바람직하지 못한 파괴 형태인 보강재 계면에서의 파괴가 나타나, 보강재와 접착제간의 부착력이 완전하지 못한 결과라 판단된다.
5. 최종 파괴시 균열 상태를 관찰한 결과, 보강재가 항복한 후 연성거동이 지속되어 휨균열이 발전되다가 강판 단부에서 사인장 균열이 생성·발전되었다.

5. 참고문헌

1. 송병표, 한만엽, 황의승, 홍영균, "보수 보강재료의 공법개발연구", 한국 콘크리트 학회, 1997년도 봄 학술 발표회 논문집, pp.592~597
2. 최완철, "에폭시접착 강판보강 철근콘크리트보의 역학적 거동에 관한 연구", 숭실대학교 생산기술 연구소, 1994, pp.117
3. 박찬민, 이일용, "노후 콘크리트 구조물의 보강 및 보수대책 연구(I)", 한국도로공사, 1995년도 연구보고서, pp.142
4. 심종성의 "철근콘크리트 구조물의 보수보강 신기술 개발", 건설교통부, 1995.10 pp.37~62
5. Robert T.M and Haji-Kazemi H, "Theoretical Study of the Behaviour of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Externally Bonded Steel Plates" The Structural Engineering, March 1989, pp.39~55
6. Ansel C. Ugural.Saul K. Fenster, "Advanced Strength and Applied Elasticity" pp.207~213
7. Swamy R. N., B. Hobbs and M. Roberts. "Structural Behavior of Externally Bonded, Steel Plated RC Beams after Long-Term Exposure", The Structural Engineering, Vol. 73, August 1995, pp.255~261