

탄소섬유시트로 보강된 R/C 보의 최대내력에 관한 연구

A Study on the Maximum Load of R/C Beams Strengthened by Carbon Fiber Sheets

최 창 식*
Choi. Chang-Sik

김 용 채**
Kim. Yong-Chae

Abstract

Recently, strengthening of structural members by adhesion of steel plate or fiber sheets is generally used. Particularly, the Carbon Fiber Sheets(CFS) is widely used. But the strengthening effect of the CFS is not clearly define yet. Therefore, this paper is designed to evaluate the effectiveness of CFS methods by analyzing previous studies in statistics.

According to the results, the maximum load carrying capacity is increased up to 0.16 times when the reinforced concrete beams were strengthened by CFS which is standard specimens. The number of sheets made some effect on the strength while, the other parameters influenced the ductile capacity.

keywords : Carbon Fiber Sheets, CFS, Repair, Rehabilitation, Strengthened

1. 서 론

콘크리트 구조물은 사용중 콘크리트의 열화 및 내구성 저하로 인하여 노후화 되거나 안전성이 불량하게 된다. 때문에, 보수·보강의 시행이 요구되는 건축물들도 증가하고 있는 추세이다. 그러나, 최근 일부에서는 구조물의 보수·보강보다는 재건축과 재개발에 의해 경제적 이득만을 추구한 나머지 건축폐기물에 의한

환경오염과 콘크리트 구조물에 대한 일반인들의 수명에 대한 잘못된 인식을 심어주고 있는 실정이다.

한편, 건축물을 비롯한 각종 구조물의 보수보강에 대한 관심이 높아지면서 기존 콘크리트 구조체의 보수·보강방법으로 여러 대안이 연구 개발되고있으나 각종 요인으로 발생하는 구조물의 손상에 대한 보수보강 방법과 대책에 있어 일반인들도 이에 대한 믿음을 가질 수 있는 실증적이고 객관적인 연구와 시공법에

* 대전대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

** 대전대학교 건축공학과, 석사과정 졸업

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2001년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

있어서는 다소 미흡하다고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 탄소섬유시트(CFS)로 보강한 R/C보에 있어서 콘크리트 균열에 대한 보강성능, 보강효과 등을 기존문헌 및 실험결과를 토대로 통계분석적으로 파악하고 기존 보강설계시의 최대내력치를 비교 분석하여 탄소섬유시트에 의한 철근콘크리트 R/C보의 보강효과에 대한 기초자료를 제시하고자 함에 그 연구 목적이 있다.

2. 연구 개요

2.1 변수조건 및 재료특성

분석을 위한 변수조건은 Table 1과 같이 선정하였고 재료적인 특성은 콘크리트 설계강도가 250kgf/cm² 이하로 설계된 레미콘제품이고, 콘크리트의 재령28일 압축강도는 280kgf/cm²이하의 보통강도이고, 배근에 사용된 철근의 인장강도는 4000kgf/cm²이하인 D13, D16, D19의 철근을 사용한 시험체로 하였고 보강에 사용된 CFS의 역학적 성질은 Table 2에 나타난 수준의 시트로서 강재에 비해 인장강도는 14배, 탄성계수는 11배 정도로 매우 강한 재료이다. 그리고 시트접착에 사용된 에폭시 수지의 물성치는 Table 3에 나타난 제품이 사용된 시험체를 대상으로 분석하였다.

Table 1 시험체의 변수조건

CFS 보강량(매수)	보강 길이	정착, 측면보강 여부
1ply, 2plies, 3plies	0.5L, 1L	유, 무

Table 2 탄소섬유시트의 역학적 성질

단위비중 (g/cm ²)	두께 (mm)	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	파괴신율 (%)
1.62	0.110	35500	2.35×10 ⁹	1.5

Table 3. 에폭시 수지의 물성

인장강도 (kgf/cm ²)	압축강도 (kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)	인장전단강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)
35500이상	35500이상	35500이상	35500이상	2.35×10 ⁹

2.1 통계 분석 방법

본 연구분석에 사용된 자료는 기존문헌에 발표된 실험자료를 통계적으로 분석하기 위해, 변수에 대한 제한을 실시하여 분석하였다. 사용된 시험체는 총 120개의 복근형 보로써 휨 파괴가 유도된 시험체이다. 통계 분석 방법은 다음과 같이 하중 또는 처짐의 증감비율로 산술평균화 하여 기준시험체와 비교분석 하였으며 그 수치는 다음과 같은 편차와 오차값을 가지고 있다.

3. 변수에 따른 보강효과 분석결과

3.1 부재 내력의 변화

3.1.1 보강량에 따른 내력변화

CFS로 휨 보강된 R/C보 시험체의 내력은 거의 모든 표본 시험체에서 보강량(시트접수)이 증가하면서 약 1.2 ~ 1.5배의 내력증가를 나타냈다. 보강접수에 따른 최대내력 증가는 1겹보강은 1.05~1.28이고, 2겹보강은 1.28~1.43이며, 3겹보강은 1.19~1.41로 분석되었다. 그리고 본 분석에 의하면 같은 보강량(접수)이라 할지라도 정착보강이나 보강길이에 따른 내력 증가의 편차가 비교적 크다. 대부분 기존의 실험결과에서 나타나듯이 부재가 휨파괴가 유도된 시험체이지만 파괴시에는 취성적인 조기탈락으로 내력을 제대로 발휘하지 못하기 때문인 것으로 사료 된다. Fig. 1로부터 최대내력의 증가는 보강량(접수)이 증가하면서 내력의 증가 또한 완만하게 증가하고 있다.

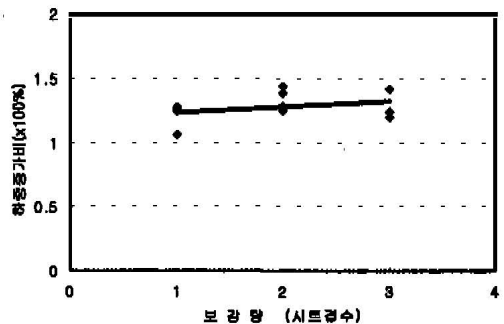


Fig. 1 최대내력의 증가비

그러나 시트의 보강량을 증가시키면 연성이 낮아지므로 보강 설계시에는 이에 대한 검토가 필요하다고 사료된다.

3.1.2 보강길이에 따른 내력변화

보강길이에 따른 최대내력의 변화는 절반보강(0.5L)인 경우 1.19~1.28이고, 전체보강(L)인 경우 1.05~1.43으로 나타났다. Fig. 2로부터 보강길이에 따른 내력의 증가는 전체길이 보강인 경우가 큰수치는 아니나 더 높게 나타나고 있다. 보강길이가 짧을 때에는 시트단부의 집중된 응력이 에폭시의 접착강도를 초과하여 보강접수를 증가시키더라도 보강효과를 발휘하지 못한 반면, 충분히 길 경우 보강접수를 증가시켜도 단부에 집중된 응력으로 인한 파괴가 발생하지 않기 때문인 것으로 사료된다. 즉 부재가 최대한 내력을 발휘하면서 연성적인 거동으로 파괴되기 위해서는 보강길이 확보가 중요할 것으로 사료된다.

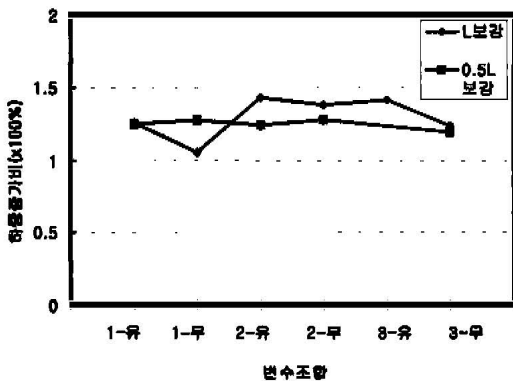


Fig. 2 보강길이에 따른 내력 증가비

3.1.3 정착 및 측면보강 유무에 따른 내력변화

정착 및 측면보강 유, 무에 따른 내력의 증가 차이는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. Fig. 3은 정착보강과 미정착보강과의 비교를 나타내고 있다. 기존의 실험에서도 정착보강은 실험체의 최대 내력의 향상보다는 연성을 향상시키는 데에 매우 효과적이라고 보고된 바 있다. 본 분석에서 나타난 수치는 약 0.1배로 정착을 실시할 경우가 미정착에 비해 최대내력의 향상을 나타냈다.

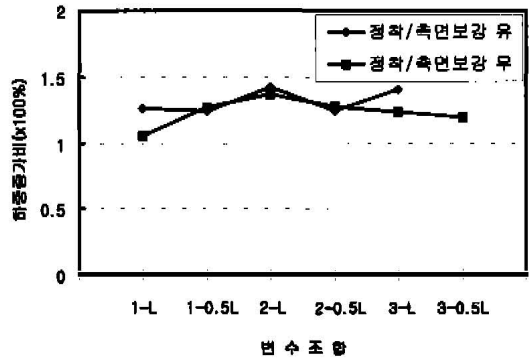


Fig. 3 정착 및 측면보강에 따른 최대하중 증가비

3.2 파괴 양상의 변화

일반적인 휨부재의 파괴와는 달리 CFS로 보강된 시험체의 파괴양상은 시트의 인장파단(tension failure) 또는 콘크리트 피복분리(rip-off) Fig. 4 또는 시트의 단부박리(separation) Fig. 5로 구분된다. 파괴양상을 통계적인 수치로 나타내면 1점 보강인 경우 시트의 인장파단이 주를 이루고 있으나 정착 면에서의 시트박리와 콘크리트 피복 분리현상도 나타나고 있다. 2,3점 보강인 경우 대부분 콘크리트 피복분리에 의해 시트가 콘크리트를 끌고 떨어지는 콘크리트 피복분리(rip-off)현상이 두드러지게 나타나고 있다. 따라서 CFS로 보강된 부재의 파괴특성은 시트의 접수에 의해 큰영향을 받는 것으로 판단되며 정착거리 및 측면보강 및 정착보강은 시트의 내력과 연성의 확보에 중요한 영향을 미치는 것으로 분석된다.

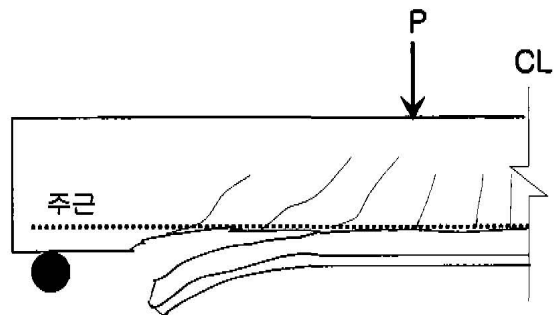


Fig. 4 콘크리트피복분리파괴(rip-off)

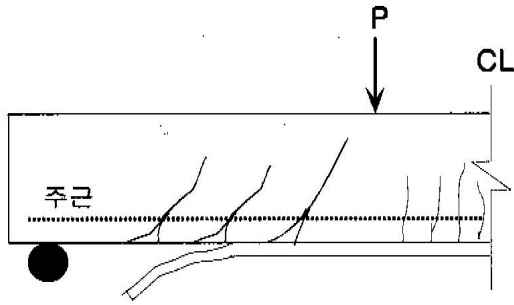


Fig. 5 시트의 단부박리 파괴

3.3 연성의 변화

연성의 변화는 CFS로 휨보강을 할 경우 기준시험체인 무보강 시험체에 비해 감소하였다. 즉 보강량(시트접수)이 증가하면서 내력은 증가하나 에너지의 흡수 능력인 연성은 감소하였다. 그리고, 다른 실험변수인 보강길이와 정착보강 및 측면보강 유, 무에 따라 비교적 큰차이를 나타내었다. 보강접수가 같은 시험체에서 다른 변수인 정착길이와 측면보강 유, 무에 따라 크기는 40%까지 차이가 있고 평균적으로 약 20% 정도 차이가 있었다. 정착길이가 길어지면서 그리고 앵커링이나 측면의 보강에 의해 정착시트의 부착력 또한 높아져 절반길이 보강이나 정착 및 측면미보강의 경우에 비해 전체보강이나 정착 및 측면보강 실시가 내력과 처짐면에서 우수하게 나타난 것으로 판단된다. Fig. 6은 보강변수에 따른 연성도의 변화를 나타내고 있으며 통계적 수치에서 나타나듯이 연성의 확보에 있어서는

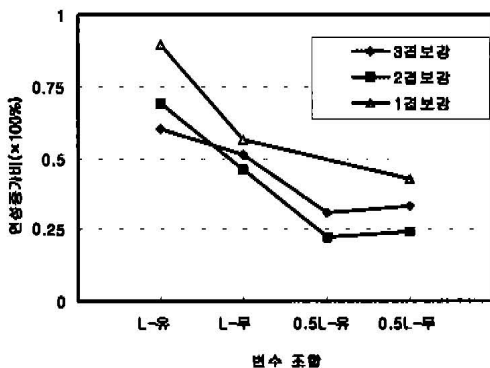


Fig. 6 보강변수에 따른 연성도 변화

보강길이의 확보와 정착보강 및 측면보강 실시가 중요할 것으로 사료된다.

4. 보강시 내력식의 비교분석

4.1 내력식의 고찰

본 절에서는 보강된 철근콘크리트 보의 파괴양상에 따라 극한강도 설계법에 의한 일반적인 보이론을 적용한 내력식 모델(I) 과 비선형 해석프로그램에 의한 일반적인 보이론과 수정된 Roberts의 이론식으로 보강재 박리하중을 해석한 내력식 모델(II)을 비교분석하고자 한다.

4.1.1 내력식 모델(I)

해석은 먼저 응력-변형선도로부터 힘의 평형방정식을 적용하여 중립축을 산정하고 산정된 중립축으로부터 최대내력을 구한다. 이때 각 요소의 힘은 각 요소의 변형도에 인장 및 압축철근과 탄소섬유시트는 각각의 탄성계수와 단면적을 곱하여 인장 및 압축응력을 계산하고 콘크리트의 응력계산은 콘크리트의 압축연단의 변형도가 0.002보다 작은 경우에는 삼각형 압축분력을, 콘크리트의 압축연단의 변형도가 0.002보다 클 경우에는 사다리꼴 압축분력을 사용한다. 그리고 CFS의 변형도는 부착파괴 또는 정착보강부 파괴가 발생할 때의 CFS의 변형도로 실험을 통한 수치를 적용하고 이를 각요소의 변형도로 나타내 해석을 실시한다.

4.1.2 내력식 모델(II)

해석은 먼저 주어진 재료값에 의해 Roberts식을 사용하여 주응력이 콘크리트의 힘인장응력보다 크게 되는 보강재의 단부박리 파괴내력을 시행착오법으로 찾는다.

단면의 내력을 계산하기 위해 폭을 ϕ 를 변수로 1×10^{-7} (1/cm) 씩 증가시키면서, 중립축을 가정하고, 각 재료의 변형도, 응력도, 단면력을 찾아 부재력의 합이 허용오차 범위 0.1kgf 내에서 수렴하는지를 검토하고, 수렴하는 중립축의 값을 반복계산을 수행하여 구하였다. 중립축의 값을 구한 후, 각 재료의 변형률로부터 내력과 외력을 구한다.

4.2 내력식의 이론/실험치 비교

내력식 모델(I)을 분석결과 실험/이론치 1.10~1.48의 비교적 큰 차이를 나타내고 있다. 이는 CFS의 변형도와 단부응력산정에 있어서 변형도는 대상 시험체의 물성치가 변화할 경우의 수치적용이 어렵기 때문이라고 사료된다. 내력식 모델(II)은 비선형 해석프로그램에 의한 보강된 부재의 최대내력 뿐만 아니라 부재의 휨거동을 거동을 예측 할 수 있는 모델이며 적용결과 비교적 실험치와 이론치가 일치하나 시트의 겹수가 증가하면서 파괴시 하중이 실험치보다 높게 나타나고 있다.

Table 4 각 내력모델의 실험/이론치

해석 시험체	파괴시 하중			$P_{exp} / P_{theo} \text{ (모델 I)}$	$P_{exp} / P_{theo} \text{ (모델 II)}$
	P_{exp} (tonf)	P_{theo} (모델 I) (tonf)	P_{theo} (모델 II) (tonf)		
1	10.13	8.56	9.58	1.18	1.05
2	11.75	10.24	12.99	1.14	0.90
3	14.21	12.83	15.97	1.10	0.88
4	9.63	8.04	10.72	1.19	0.89
5	5.33	3.58	5.7	1.48	0.94
6	7.45	5.78	8.41	1.28	0.88

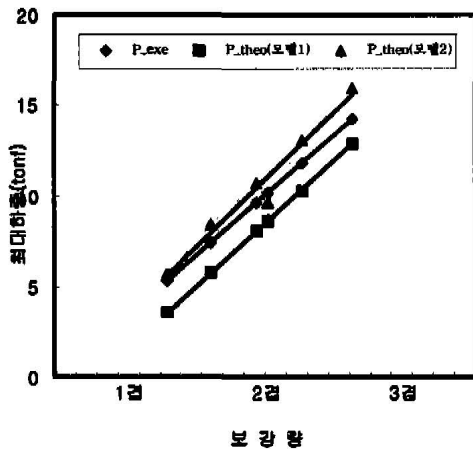


Fig. 7 각 내력식의 비교

5. 결론

CFS(탄소섬유시트)로 보강된 R/C보의 최대내력에 관한 통계/내력식의 분석적 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

- 1) CFS로 보강된 R/C보의 최대내력은 무보강 시험체와 비교시 약 1.2~1.5배의 내력이 증가하였다. 각 변수에 따른 내력변화는 전체길이보강과 정착 및 측면보강을 실시한 경우가 크지는 않으나 미시한 시험체에 비해 높게 나타났다.
- 2) CFS로 보강된 R/C보의 파괴양상의 변화는 시트의 탈락에 의해 콘크리트 피복분리 또는 단부박리 형태로 파괴되었고 이는 시트의 보강량(겹수)에 의해 크게 좌우되었다. 즉 보강량이 증가하면서 보강된 부재는 정상적인 휨파괴가 아니라 시트의 탈락에 의해 조기에 파괴되었다.
- 3) CFS로 보강된 R/C보의 연성은 전체적으로 무보강 기준 시험체에 비해 크게 감소하는 것으로 분석되었다. 그리고, CFS보강길이의 영향은 전체길이보강의 경우가 절반길이보강에 비해 20 % 정도 높은 연성을 나타냈으며, 정착보강 및 측면보강의 영향은 실시하지 않은 보강시험체에 비해 정착보강 및 측면 보강을 실시한 보강시험체가 20 % 정도 증가하였다.
- 4) CFS로 보강된 R/C보의 최대내력의 비교분석 결과 실험/이론치가 비교적 큰 수치의 오차가 나타났다. 그리고, 보강량이 증가하면서 최대내력을 과대평가하고 있고 또한 정착보강이나 측면보강시의 내력산정 등에 있어서의 내력산정등 보강시 해석식에 대한 연구가 더 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구를 진행할 수 있도록 연구비를 지원해주신 경기도청 및 중소기업청과 대전대학교 산업협동연구센터와 한양대학교 초대형구조시스템연구센터(STRESS)의 관계관 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 배인환, "강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트보의 휨해석 및 설계기법 연구" 한양대학교 대학원 박사학위 논문, 1997. 6
2. 김정섭, "철근콘크리트 구조물의 보수·보강기법에 따른 구조특성에 관한 연구", 단국대학교 대학원 박사학위 논문, 1997. 8
3. 이원호, 구은숙, 이리형, "탄소섬유시트와 아라미드 섬유시트로 보강한 보의 휨 성능 비교", 대한건축학회지, 1998. 9, pp. 65~72
4. 조인철, "탄소섬유시트로 휨 보강한 R/C보의 구조적 거동 연구", 한양대학교 대학원 석사논문, 1998. 12
5. 송성용, "탄소섬유시트 또는 강판으로 보강된 R/C보의 단부파괴바리에 관한 해석적 연구", 한양대학교 대학원 석사논문, 1999. 6
6. 심종성, "강판 및 탄소섬유 sheet로 보강된 RC보의 피로거동에 관한 연구", 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1995, pp. 319~324
7. 신성우, "탄소섬유시트의 보강길이에 따른 RC보의 휨 거동", 한국구조물신학회, 1998. 1, pp. 136~141
8. 오용복, "철근콘크리트 보의 강판 보강에 관한 실험적 연구" 대한건축학회논문집, 1997. 6, pp. 307~315
9. 심종성, 김규선, "FRP로 보강된 RC보의 전단보강효과 비교 연구" 콘크리트학회지, 1998. 8, pp. 101~111
10. 홍영균, 윤성원, "탄소섬유 sheet를 이용한 콘크리트 구조물의 보강" 한국콘크리트학회지 1994. 8 v.6, n.4, pp.42-52
11. 박칠립, 황기석, 백명중, "탄소섬유시트로 보강된 철근 콘크리트보의 부속파괴거동에 관한 실험적 연구" 한국 콘크리트학회지 1997. 12 v.9, n.6, pp.157-164
12. 오용복, 권영웅, "탄소섬유시트로보강된 철근콘크리트 보의 보강 절근비에 따른 구조적 거동" 한국콘크리트학회지 1998, 4 v.10, n. 4, pp.119-126
13. 신영수, 최완철, 홍영균, 홍기섭, "탄소섬유를 사용한 R.C보의 구조거동에 관한 기초적 연구" 대한건축학회 논문집 1991.12 v.7, n.6, 38, pp.229-236
14. 오용복 "탄소섬유시트로 휨 보강된 콘크리트의 강도 특성" 대한건축학회논문집, 1995.10 v.11, n.10, 84, pp.323-328 1225-1674
15. 김지영, 박형철, 김대형, 박칠립, "탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트보의 휨거동에 관한 실험적 연구" 대한건축학회논문집 1998, 1 v.14, n. 1, pp. 319-326 1225-1674
16. 김지현, 나정민, 이용택, 이리형, "탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트보의 휨강도에 관한 해석적 연구" 1998년도 추계학술발표대회 논문집 1998. 8 v.18, n.2, pp. 81-86
17. 송성용, 나정민, 이용택, 이리형, "탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 실험 연구" 1998년도 추계학술발표대회 논문집 1998. 8 v.18, n.2, pp. 347-352
18. Roberts, T. M. " Approximat Analysis of shear and normal stress concentrations in the adhesive layer of plated RC Beam" Structural Engineer 63. no.12, 1989, pp223-233

(접수일자 : 2001년 2월 27일)