

탄소섬유시트의 정착 보강방법이 RC보의 휨거동에 미치는 영향

Effect of Anchorage Type of CFS on Flexural Behavior of RC Beams

신 성 우¹⁾ 반 병 렬²⁾ 이 광 수³⁾ 조 인 철⁴⁾
Shin, Sung Woo Bahn, Byong Youl Lee, Kwang Soo Cho, In Chol

Abstract

To investigate the effect of anchorage type of carbon fiber sheet (CFS) on flexural behavior of RC beams, the loading test of RC beams reinforced with CFS was conducted in variable of anchorage Type such as bolting anchorage and U type anchorage using CFS. This study can be summarized as follows ;

It is confirmed experimentally that the bolting anchorage and U type anchorage with CFS is very effective to delay the bond failure and prevent the peeling of CFS. Also, the anchorage type applied with this study is very effective to improve the ductility compared with the improving of maximum flexural strength of RC beams. It is believed that the anchorage type used this study must secure the ductile capacity of above 3 for the flexural strengthening of RC beams. In the future, it is required to obtain the data about anchorage type of CFS for utilization of field work as well as investigate the ductile capacity of conventional study of anchorage type

Key words : Carbon fiber sheet, Anchorage type, Flexural behavior of RC beam,

1) 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공박
2) 정희원, 대전대학교 건축과 조교수, 공박
3) 정희원, 여주전문대 건축과 조교수, 공박
4) 한양대학교 건축공학과, 석사과정

● 본 논문에 대한 토의를 7월 30일까지 학회로 보내주시면
1998년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

철근콘크리트보를 탄소섬유쉬트(CFS)로 휨보강한 기존의 연구결과를 조사해 보면, 그 최대내력은 CFS의 부착과피에 의하여 결정된다고 보고되어 있다^{1),2)} 그러나, CFS가 가지고 있는 높은 재료강도를 최대한 이용하여 CFS에 의한 휨보강효과를 극대화하기 위하여는 콘크리트와 CFS의 부착과피를 방지하고, CFS가 파단되도록 부착강도를 증대시키거나, CFS의 정착방법을 개선하여 콘크리트 표면으로부터 CFS에 충분한 인장응력이 전달될 수 있도록 하는 시공방법의 개발이 요망된다.

따라서, 본연구에서는 CFS의 정착방법이 RC보의 휨보강효과에 미치는 영향을 파악하기 위하여 CFS의 정착방법을 변화시켜 RC보의 휨보강을 실시한후, 그 보강효과에 대하여 실험적인 검토를 실시하였다.

2. 실 험

2.1 실험 계획

Table 1에 각 실험변수에 따른 실험체별 특성을 나타낸다. 실험체는 선하중(Pre-loading)을 가하지 않은 기준실험체(F0-CN-00), 휨균열을 발생시키기 위하여 선하중을 인장철근 항복변형률의 70%까지 재하한 후 휨균열을 주입용 에폭시로 보수한 보수실험체(F0-EN-70), 휨균열을 에폭시 주입공법으로 보수하고 보 밑면에 10cm 폭의 CFS로 보강한 CFS 보강실험체의 3종류로 구별된다. 또한, Fig.1은 실험체의 형상을 나타내며, CFS의 정착방법은 Fig.2와 같이, CFS만으로 정착하는 방법(무보강 정착 : LN), CFS 단부를 철판(100×120×3mm)과 Anchor(구멍직경 12mm, 구멍깊이 110mm)로 정착 보강하는 방법(Anchor 정착 : LA), CFS 단부를 폭 30cm의 CFS로 감싸서 정착 보강하는 방법(U형 정착 : LU)이다. 또한, 각 정착방법에 따라 CFS의 보강량을 변화시켰다.

Table 1. 실험체의 종류

실험체명	CFS 매수	정착방법	PRELOADING
F0-CN-00	0	-	0 %
F0-EN-70		에폭시수지 보수	70 %
F1-LN-70	1	NONE	
F1-LA-70		ANCHOR	
F1-LU-70		U형 정착	
F2-LN-70	2	NONE	
F2-LA-70		ANCHOR	
F2-LU-70		U형 정착	
F3-LN-70	3	NONE	
F3-LA-70		ANCHOR	
F3-LU-70		U형 정착	

F0-CN-00

보강량 - F0:무보강, F1:1장, F2:2장, F3:3장

정착방법 - LN:무보강정착, LA:ANCHOR LU: CFS의 U자형정착

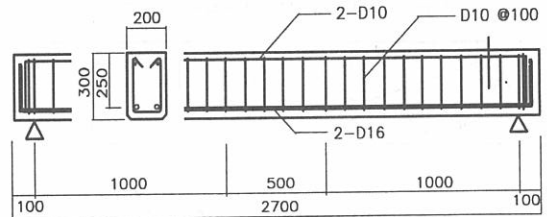


Fig. 1. 실험체의 형상

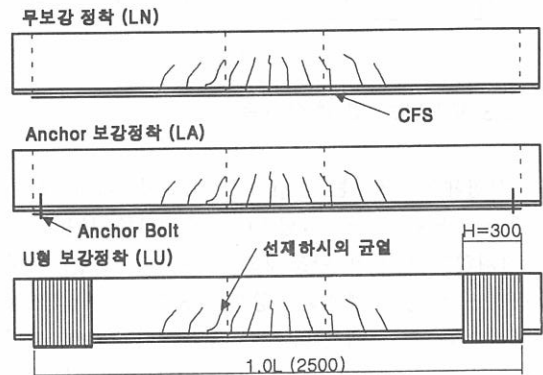


Fig. 2. CFS의 정착보강 방법

2.2 사용재료의 물성

실험에는 국내에서 생산되는 무수지 일방향 CFS를 사용하였으며, 그 재료 물성은 Table 2와 같다. 또한, 에폭시 수지의 물성은 Table 3에, 콘크리트의 압축강도를 Table 4에, 철근의 인장시험 결과가 Table 5에 나타내었다.

Table 2. CFS의 재료 물성

설계강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm, 폭)	설계탄성률 (kg/cm ²)	인장탄성률 (kg/cm, 폭)
39,644.23	436.03	2.68×10 ⁶	29477.9

Table 3. 에폭시 수지의 물성

인장강도 (kg/cm ²)	압축강도 (kg/cm ²)	굴곡강도 (kg/cm ²)	전단강도 (kg/cm ²)
400	750	700	300

Table 4. 콘크리트의 압축강도 시험결과

재령	7일	28일
강도 f'c(kg/cm ²)	197	245

Table 5. 철근의 인장시험 결과

구분	탄성계수 (×10 ⁻⁶ kg/cm ²)	항복강도 (kg/cm ²)	항복변형률 (×10 ⁻⁶)	인장강도 (kg/cm ²)	신률 (%)
D16	1.9	4324	2220	6092	21

2.3 재하방법 및 측정항목

실험체의 재하는 Fig.3에 나타낸 바와 같이 200ton 용량의 만능시험기(U. T. M)를 사용하여, 2점재하의 일방향 단조재하로 하였다. 또한, 재하 방법은 예상 최종파괴하중의 1/3까지는 하중조절 방식으로 그 이후부터 실험종료까지는 변위조절 방식으로 진행하였다. 처짐은 실험체 중앙부와 중

양부로부터 지지점쪽으로 25cm 간격으로 다이알 게이지(dial gauge)를 설치하여 측정하였으며, 인장철근의 변형도와 함께 CFS의 변형도를 측정하기 위해서 쉬트의 표면에 W.S.G를 25cm 간격으로 부착하였다. 또한, 콘크리트의 압축변형도를 측정하기 위하여 압축연단으로부터 중립축까지 2cm 간격으로 W.S.G를 부착하였다.

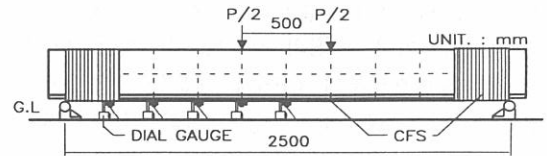


Fig. 3. 실험체의 재하방법

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험체의 파괴상황

Fig.4는 재하시험 종료후의 실험체의 파괴상황을 나타낸다. 기준실험체는 하중의 증가에 따라 휨균열이 진전하여 압축콘크리트의 압괴에 의하여 파괴하였으나, CFS만으로 정착한 LN실험체는 CFS의 부착파괴로 CFS가 탈락 하였다. 한편, CFS를 철판(100×120×3mm)과 Anchor bolt(구멍 직경 12mm, 구멍깊이 110mm)로 정착한 LA실험체는 1장보강한 F1-LA-70의 경우에는 CFS의 균열부위의 국부적인 하중집중으로 인해서 인장과 단이 발생하였고 2장 및 3장의 경우에는 CFS가 철판과 콘크리트 사이에서 인장력으로 인하여 미끄러져 나오면서 부착 및 정착파괴가 발생하였다. CFS를 U자형으로 정착한 모든 LU실험체는 CFS의 부착파괴와 CFS의 U자형 보강부위의 변형에 의한 정착파괴가 발생하였다. CFS의 파단 또는 부착파괴후, 모든 실험체는 압축콘크리트의 압괴에 의하여 최종 파괴 하였다. Table 6에 각 실험체의 실험결과를 나타내었다.

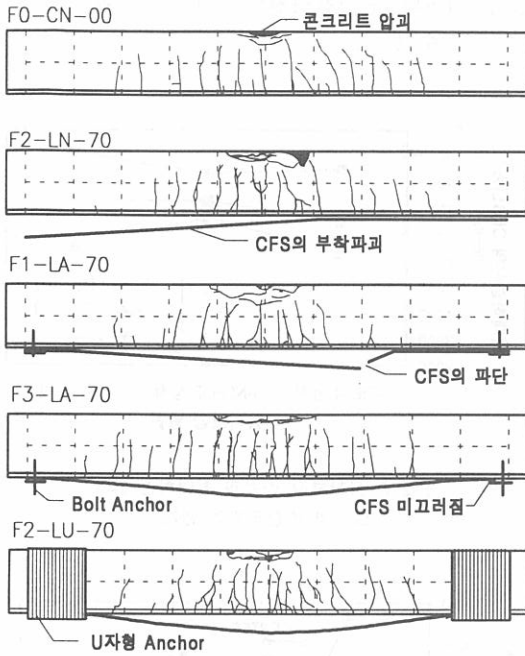


Fig. 4. 실험체의 파괴상황

3.2 하중-처짐곡선

Fig.5는 CFS의 보강량이 2장인 경우, CFS의 정착방법의 변화에 따른 각 실험체의 하중-처짐곡선이다. 정착보강을 실시한 실험체의 최대하중은 정착방법에 큰 영향을 받지 않는다. 그러나, 정착보강이 없는 LN실험체의 CFS탈락시의 처짐량을 1로 하였을 때, CFS탈락시의 정착을 실시한 LA실험체 및 LU실험체의 처짐량은 각각 1.5~2.4배, 1.5~2.8배로 크게 증가하여 연성이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 CFS의 정착이 CFS의 부착파괴 및 탈락을 방지하였기 때문으로 판단된다. 또한, Fig.6은 U자형 정착을 실시한 LU실험체의 경우, CFS의 보강량에 따른 실험체의 하중-처짐곡선이다. 동일한 정착방법의 경우, CFS의 보강량이 증가 할수록 최대하중은 커지나, CFS 탈락시의 처짐량은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은, CFS보강량의 증가에 의해 실험체의 전체 강성이 증가하였기 때문으로 생각된다.

Table 6. 각 실험체의 실험결과

시험체명	CFS 매수	보강길이	균열발생		부재항복			최대하중			탄소탈락		연성 $\frac{\delta_f}{\delta_y}$
			P_{cr} ton	δ_{cr} mm	P_y ton	실험값 *기준값	δ_y mm	P_u ton	실험값 *기준값	δ_u mm	P_f ton	δ_f mm	
F0-CN-00	0	-	2.40	1.06	8.00*	1.00	8.22	9.70*	1.00	33.38	-	-	
F0-EN-70		선제하균열 예폭시보수	2.20	1.94	8.20	1.03	7.70	9.64	0.99	32.42	-	-	
F1-LN-70	1	NONE	3.40	3.36	9.00	1.13	9.97	10.80	1.11	37.68	10.30	41.86	4.20
F1-LA-70		ANCHOR	3.00	2.38	9.40	1.18	8.58	11.40	1.18	42.97	11.10	63.40	7.39
F1-LU-70		U형 정착	2.90	3.31	9.80	1.23	10.19	11.72	1.21	56.09	11.54	65.60	6.44
F2-LN-70	2	NONE	3.08	1.80	9.68	1.21	8.41	11.80	1.22	20.53	11.80	20.53	2.44
F2-LA-70		ANCHOR	2.56	2.00	9.36	1.17	9.58	12.42	1.28	48.89	12.42	48.89	5.10
F2-LU-70		U형 정착	2.42	1.56	10.00	1.25	9.32	11.86	1.22	29.54	11.50	57.88	6.21
F3-LN-70	3	NONE	3.02	3.46	9.40	1.18	8.95	12.00	1.24	20.53	12.00	20.53	2.29
F3-LA-70		ANCHOR	3.64	2.95	9.92	1.24	9.24	12.94	1.33	31.88	12.94	31.88	3.45
F3-LU-70		U형 정착	2.30	1.30	10.20	1.28	8.25	12.58	1.30	31.42	11.86	47.21	5.72

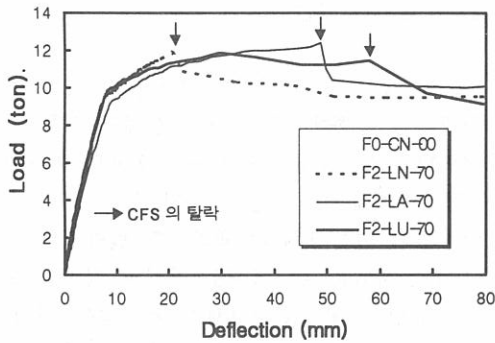


Fig. 5. 정착보강 방법에 따른 하중 - 처짐곡선 (보강량 2장)

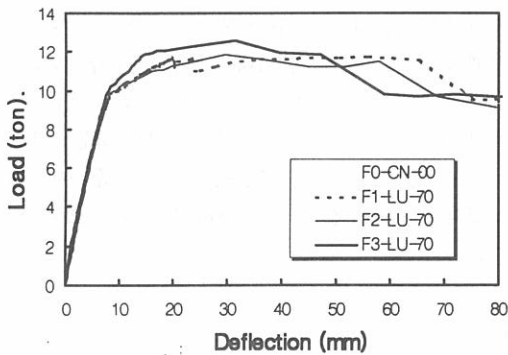


Fig. 6. CFS의 보강량에 따른 하중 - 처짐곡선 (U자형 정착 - LU)

3.3 정착보강방법에 따른 CFS의 변형도 변화

Fig.7은 정착보강방법에 따른 최대하중시의 CFS의 변형도를 나타낸 것이다. 정착보강이 없는 LN실험체와 비교하여 정착보강을 실시한 LA 및 LU실험체의 변형도는 증가하는 경향을 나타내고 있으나, CFS의 보강량이 증가할수록 그 변형도는 감소하는 경향을 보였다. 또한, Fig.8은 최대하중시에 있어서, 각 정착보강방법에 따른 CFS의 변형도 분포를 나타낸 것이다. 정착보강이 없는 LN 실험체와 비교하여 정착보강이 있는 LA 및 LU 실험체의 변형도는 단부까지 크게 증가하여, 정착보

강이 CFS의 인장응력전달에 매우 효과가 있는 것을 알 수 있다.

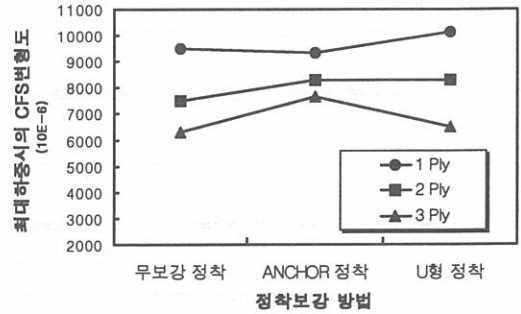


Fig. 7. 정착보강 방법과 최대하중시의 CFS의 변형도와의 관계

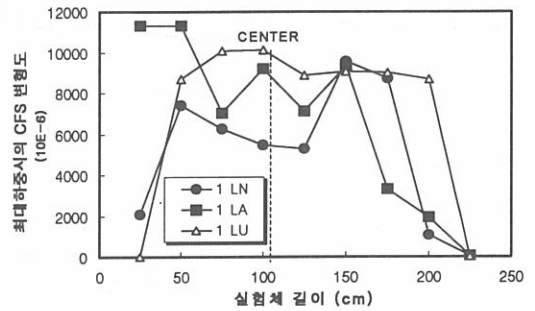


Fig. 8. 정착보강 방법에 따른 CFS의 변형도 분포

3.4 정착보강방법과 최대하중 및 연성과의 관계

Fig.9는 정착보강방법과 최대하중과의 관계를 나타낸 것이다. 정착보강이 있는 LA 및 LU 실험체의 최대하중 증가효과는 정착보강이 없는 LN 실험체와 비교하여 거의 없으며, 최대하중은 CFS의 보강량에 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 한편, Fig.10에 나타낸 것과 같이 정착보강이 없는 LN 실험체와 비교하여 정착보강이 있는 LA 및 LU 실험체의 연성은 3이상이므로 기존의 처짐 연성 지수 제안값을 만족하고 있으며, 그 증가비는 각

각 1.5~2.5배로 나타났다. 또한, Table 7에 정착 방법에 따른 각 실험치를 나타낸다. 따라서, CFS의 정착보강 시공은 실험체의 최대내력 보다는 연성을 향상시키는데에 매우 효과적이라고 생각된다.

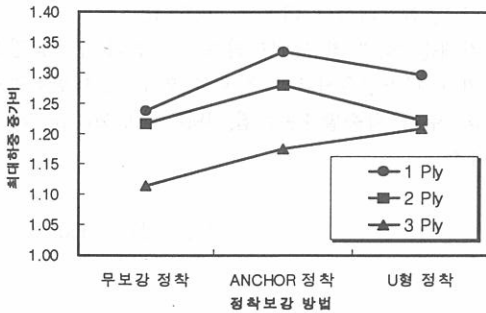


Fig. 9. 정착보강 방법과 최대하중과의 관계

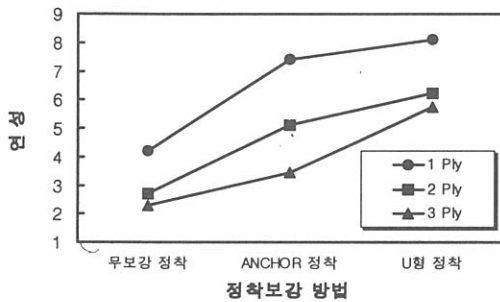


Fig. 10. 정착방법과 실험체의 연성과의 관계

4. 결 론

CFS의 정착보강 방법이 RC보의 휨보강효과에 미치는 영향을 검토하기 위하여, CFS의 정착보강방법을 변화시켜 RC보의 휨보강을 실시한 후, 그 보강효과에 대하여 실험적인 검토를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) CFS로 휨보강한 RC보의 단부를 Anchor bolt(LA 실험체)와 CFS를 이용한 U자형으로 정착보강하는 시공방법(LU 실험체)은 CFS의 부착파괴를 지연시키고 CFS의 탈락을 방지하는데 매우 효과적이다.

2) Anchor bolt 와 U자형 정착보강 시공은 RC보의 최대내력 증가 보다는 연성을 향상시키는데 매우 효과적이며, 기존의 처짐 연성지수 제한값 3 이상을 전부 만족하는 결과를 얻었다.

3) 향후, 정착보강 방법에 관한 기존연구를 종합정리하여 정착방법에 따른 연성의 정량화 및 현장적용성에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국카본(주), 성암건설(주), 그리고 한양대학교 STRESS의 지원에 의해 수행된 것으로, 관계자 여러분께 감사드립니다.

Table 7. 정착보강 방법에 따른 각 실험체의 실험결과

보강량	최대하중비			최대하중시의 변형도비			연 성 비			CFS 탈락시의 변형도비		
	1 Ply	2 Ply	3 Ply	1 Ply	2 Ply	3 Ply	1 Ply	2 Ply	3 Ply	1 Ply	2 Ply	3 Ply
LN(무보강)*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
LA(anchor)	1.06	1.05	1.08	0.98	1.10	1.22	1.76	2.09	1.51	0.99	1.10	1.22
LU(U형정착)	1.06	1.01	1.05	1.07	1.11	1.03	1.53	2.55	2.50	1.13	1.20	1.05

* LN 실험체의 값을 기준값 1로 정의함

참 고 문 헌

- 1) Alfarabi sharif, I.A.Basunbul "Strengthening of initially Loaded Reinforced Concrete Beams using FRP Plates", ACI Structural Journal, 1994. 3-4, V. 91, NO. 2, pp.160~168
- 2) 심종성 외, " 강판 및 탄소섬유 SHEET로 보강된 R/C보의 구조거동 특성 비교연구 ", 한양대학교 산업대학원, 1995. 6
- 3) Thanasis C. Triantafillou, Nikola Deskovic, and Martin Deuring, " Strengthening of Concrete Structures with Prestressed Fiber Reinforced Plastic Sheets " , ACI Structural Journal 1992. 5-6, V. 89, NO. 3, pp.235~244
- 4) M.Hussain, Alfarabi Sharif, I.A. Basunbul, M.H.Baluch, and G.J. Al-Suaimani, " Flexural Behavior of Precracked Reinforced Concrete Beams Strengthened Externally by Steel Plates ", ACI Structural Journal, 1995. 1-2, V. 92, NO. 1,
- 5) J.G.Mc Gregor, "Ductility of Structural Elements" Handbook of Concrete Engineering, 1st Ed., Van Nostrand Reinhold
- 6) 정현수 외, " 보강재를 사용한 철근 콘크리트 보의 내력보강에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 1996, pp.495~500
- 7) 유석형 , " 고강도 철근 콘크리트보의 휨거동 연구 ", 한양대학교 대학원, 1995. 12
- 8) 김재순 외, " 철근 콘크리트 구조물의 구조보강을 위한 탄소섬유시트의 적용성 연구 ", 대한건축학회 추계 학술발표논문집, 1996. 10. 26, pp.485~490

(접수일자 1998. 3. 20)