

FRP보강 RC보의 조기파괴기준 II

Premature failure Criteria of RC Beams Strengthened with FRP II

김 태 우*

Kim, Tae Woo

ABSTRACT

Rip-off failure and Debonding failure were commonly reported premature failure modes. The main reasons of premature failure in RC beams bonded with FRP were strengthening length and the reinforcement ratio. in this study, On the basis of premature failure mechanism in RC beams bonded with FRP, premature failure criteria were proposed. Also It was verified that Rip-off failure and Debonding failure occurred according to premature failure criteria

1. 서론

FRP보강 RC보에서의 기본보강길이는 철근항복길기와 FRP인장력을 저항하는 부착길기로 구성되어 있다. 이 기본보강길기보다 적게 보강된 경우는 단부박리파괴가 그렇지 않은 경우에는 부착파괴가 일어나게 된다. 또한 FRP의 보강량과 보강길이에 따라 하중의 변화도 파괴형태와 연관되어 서로 다르게 나타난다. 이러한 조기파괴기준을 앞선 논문에서 제시하였으며 본 논문에서는 조기파괴기준의 타당성을 기존의 실험결과를 가지고 검증하였다. 즉, FRP를 이용하여 보강된 RC보에서 보강량, 보강길이, 보강폭에 따라 보강효과와 파괴형태가 제안된 조기파괴기준대로 나타나는지를 알아봄으로써 조기파괴기준의 타당성을 입증하였다.

2. 기존연구의 실험결과

본 논문에서는 조기파괴기준의 타당성을 검증하기 위하여 기존문헌의 실험결과를 분석하여 제안된 조기파괴기준대로 파괴형태와 하중의 변화가 나타나는지를 알아보았다. 이를 위하여 여러 연구자에 의해 발표된 논문의 결과를 참고로 하였다. 표1은 보강길이를 변수로, 표2는 보강량과 보강폭을 변수로 한 실험결과이다. 여기서, 시험체 번호는 각 시험체의 통일성을 기하기 위하여 다시 부여하였으며 파괴형태는 연구자의 분류명칭이 달라 본 논문에서는 단부박리파괴(E.F)와 부착파괴(P.F)로 수정하여 나타내었다.

표1. 보강길이에 따른 파괴형태와 극한하중

참고문헌	시험체	변경된 시험체	보 강 길 이	보 강 량	극 한 하 중	파괴형태	
						문헌	수정
박상렬 (2002)	CON	C2-0	0	0	7.44	휨 인장파괴	-
	FPS1	C2-1	0.5L	10cm	8.84	콘크리트 덮개박리파괴	E.F
	FPL1	C2-2	0.93L	10cm	11.58	경계면전단박리파괴	P.F
	FPO ^d	C2-3	0.99L	10cm	13.50	경계면전단박리파괴	P.F
최기선등 (2003)	EC	C3-0	0	0	2.94	휨 파괴	-
	EG1-B1	C3-1	0.79L	1 Sheet	4.46	쉬트박리	P.F
	EG1-B2	C3-2	0.96L	1 Sheet	4.47	쉬트박리	P.F

* 정희원, 한국도로공사 고창-담양 건설사업소 품질관리담당

표2. 보강량과 보강폭에 따른 파괴형태와 극한하중

참고문헌	시험체	변경된 시험체	보강폭 (cm)	보강량 (sheet)	보강길이	극한하중 (tonf)	파괴형태	
							문헌	수정
심중성동 (1998)	Con	B1-0	0	-	0	6.30	휨 파괴	-
	C6-N5	B1-1	5	-	0.6L	8.86	rip-off 파괴	E.F
	C6-N10	B1-2	10	-	0.6L	8.22	rip-off 파괴	E.F
	C8-N5	B1-3	5	-	0.8L	10.67	계면박리파괴	P.F
	C8-N10	B1-4	10	-	0.8L	10.02	rip-off 파괴	E.F
	C10-N5	B1-5	5	-	1.0L	10.15	계면박리파괴	P.F
	C10-N10	B1-6	10	-	1.0L	13.3	계면박리파괴	P.F
박상렬등 (2003)	R	B2-0	0	-	0	9.50	휨 인장파괴	-
	FP0	B2-1	5	-	0.99L	12.20	부착파괴	P.F
	FP0#	B2-2	10	-	0.99L	13.50	부착파괴	P.F
박상렬등 (2000)	CF0	A!-0	-	0	0	9.49	휨 인장파괴	-
	CF1	A!-1	-	1	-	11.36	보강재 항복	-
	CF2	A!-2	-	2	-	12.89	계면 박리	P.F
	CF3	A!-3	-	3	-	13.49	rip-off	E.F
	CF4	A!-4	-	4	-	13.62	rip-off	E.F
	CF6	A!-5	-	6	-	13.92	rip-off	E.F
박상렬 (2001)	F0	A2-0	-	0	0	7.44	휨 인장파괴	-
	F1	A2-1	-	1	0.95L	10.59	경계면 전단박리파괴	P.F
	F2	A2-2	-	2	0.95L	11.69	경계면 전단박리파괴	P.F
	F3	A2-3	-	3	0.95L	12.97	경계면 전단박리파괴	P.F
	F4	A2-4	-	4	0.95L	13.93	경계면 전단박리파괴	P.F
조재열 (2001)	C0	A3-0	-	0	0	89(KN)	Flexural Failure	-
	C1	A3-1	-	1	0.95L	107	Plate Separation	P.F
	C2	A3-2	-	2	0.95L	125	Plate Separation	P.F
	C3	A3-3	-	3	0.95L	132	Plate Separation	P.F

3. 조기파괴기준

제안된 조기파괴기준과 보강량, 보강길이에 따른 하중의 변화 내용을 그림1에 나타내었다.

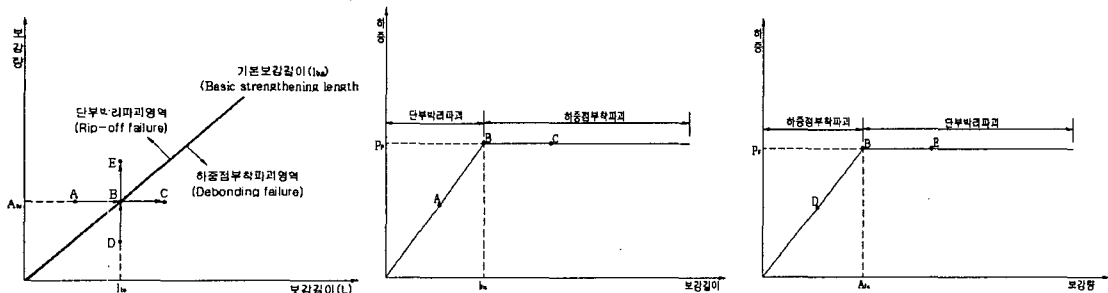


그림1. FRP보강 RC보의 조기파괴기준

4. 조기파괴기준의 타당성 검증

4.1 보강량에 따른 파괴형태와 보강효과

그림2는 표2의 보강량과 보강폭에 대한 결과를 나타낸 것이다. 보강길이가 일정한 상태에서 FRP의 보강접수와 폭을 증가시켜 보강량을 증가한 실험결과이다. 그림2의 (a)에서 보듯이 FRP파단 파괴와 부착파괴가 발생한 시험체까지는 하중이 증가가 뚜렷하게 나타나고 있다. 그러나 이 상태에서 보강접

수를 더 증가시켜 슈트를 4장과 6장으로 보강한 경우의 하중은 처음 단부박리파괴가 발생한 시험체의 하중과 거의 같은 하중을 나타내고 있다. 즉 보강량이 증가함에 따라 처음에는 파괴형태도 부착파괴가 발생하고 하중도 뚜렷한 증가를 보이나 보강량이 점점 증가함에 따라 단부박리파괴형태를 보이고 하중의 미미하게 변하는 것을 알 수 있다. 그림2의 (b)의 경우도 부착파괴가 발생한 시험체의 하중변화 모습인데 이 경우도 제안된 조기파괴기준과 일치되는 모습을 보이고 있다. 그림2의 (a)와(b)는 보강폭이 일정한 상태에서 보강겹수를 증가시켜 보강량을 증가시킨 경우이다. 이와는 달리 그림2의 9c)는 보강폭을 증가시켜 보강량을 증가한 경우에 해당된다. 이들 시험체에서도 부착파괴가 발생한 경우는 보강량이 증가함에 따라 하중이 증가가 이루어지고 있다. 그러나 단부박리파괴로 파괴형태가 변하면 하중의 증가는 소멸되는 것을 볼 수 있다. 즉 부착파괴에서는 보강겹수 혹은 보강폭을 확대하여 보강량을 증가시킬 경우 모두 보강량의 증가로 하중이 증가됨을 알 수 있다.

끝으로 조기파괴기준상의 B점 이후부터 E점으로 진행되는 경우 즉 단부박리파괴에서 보강량을 증가시키는 경우에 대하여 알아보면 이 경우는 조기파괴기준에서는 보강량이 증가해도 보강길이가 일정함으로 하중의 증가가 없는 것으로 나타나는 곳이다. 그림2의 (c)에서 B1-1과 B1-2의 내용을 살펴보면 B1-1, B1-2 모두 단부박리파괴가 발생한 시험체이다. 그러나 보강은 B1-1은 5cm, B1-2는 10cm로 보강폭을 두 배로 증가시켜 보강량을 증가시킨 시험체이다. 그림에서도 보듯이 보강량은 두 배로 증가되었으나 하중은 B1-1은 8.86 tonf이고 B1-2는 8.22 tonf로 하중의 증가는 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 보강폭을 두 배로 증가시켜 부착면적을 증가시켰음에도 이러한 결과가 나타나는 이유는 단부박리파괴는 파도가 FRP와 콘크리트 면에서 발생하는 것이 아니라 주인장철근 층에서 파도가 발생하는 것이다. 그러므로 이 주인장철근 층이 박리파괴를 지배하게 됨으로 FRP와 콘크리트면의 부착면적의 증가와 보강량의 증가에 관계없이 하중이 일정하게 되는 것이다.

위의 결과를 조합해 볼 때 보강량의 증가에 따라 부착파괴에서 단부박리파괴로 파괴형태가 변화되고 부착파괴 상태에서는 보강량이 증가함에 따라 하중이 비례적으로 증가되고 단부박리파괴로 전환된 이후에는 하중의 증가가 없는 것이 확인되고 있다.

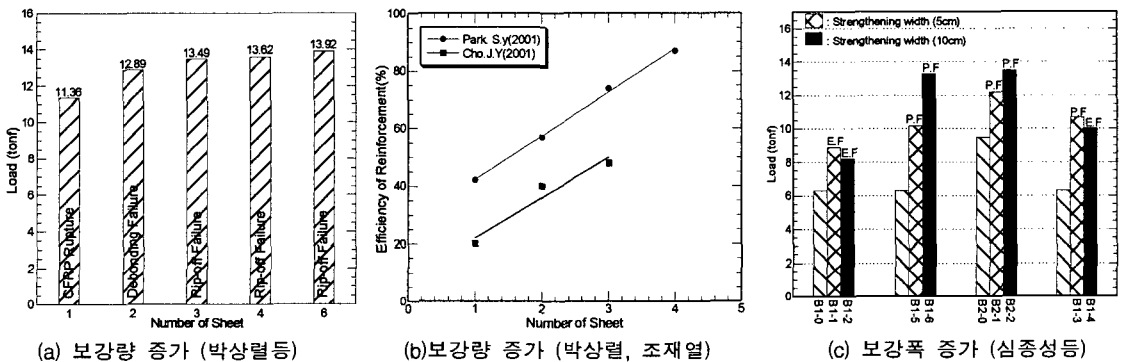


그림2. 보강량에 따른 하중의 변화

4. 2 보강길이에 따른 파괴형태와 보강효과

그림3은 표1의 내용 즉, 보강길이에 따라 하중과 파괴형태의 변화관계를 나타낸 것이다. 그림3의(a)에서 보듯이 보강폭이 5cm인 시험체에서 보강길이가 0.6L인 경우는 단부박리파괴가 발생하고 0.8L과 1.0L은 부착파괴가 발생하고 있음을 알 수 있다. 각 시험체의 하중을 보면 0.6L은 8.86 tonf이고 0.8L은 10.67 tonf, 1.0L은 10.02 tonf를 기록하고 있다. 보강길이가 길어짐에 따라 단부박리파괴에서 부착파괴로 파괴형태가 변하고 단부박리파괴에서 부착파괴로 되는 과정에서는 하중의 증가가 이루어지고 있으나 부착파괴로 된 상태에서는 보강길이가 증가하여도 하중의 변화는 나타나지 않고 있는 것이다. 보강폭이 10cm인 시험체에서는 0.6L과 0.8L은 단부박리파괴가 발생하고 1.0L은 부착파괴가 발생하였다. 하중의 증가는 부착파괴가 발생하는 시험체까지 증가가 이루어지는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 그림3의(b)에서도 같은 결과가 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이는 조기파괴기준에서 A점에서 B

점으로 진행하는 결과와 일치성을 보이고 있는 것이다.

그림3의(b)의 우측의 그래프는 부착파괴 상태에서 보강길이가 계속 길어진 것으로 하중의 증가가 전혀 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 보강길이가 0.79L에서 0.96L로 증가되었으나 하중은 4.47 tonf와 4.46 tonf로 동일한 값을 나타내고 있는 것이다. 이는 조기파괴기준과 일치된 결과이다.

이상에서 살펴본 바로 보강길이에 따라 파괴형태가 단부박리파괴에서 부착파괴로 전환되고 단부박리파괴 시에는 보강길이가 길어짐에 따라 하중의 증가가 이루어지고 있으나 부착파괴 시는 보강길이가 증가해도 하중의 증가는 전혀 발생하지 않는 것이 실험결과를 통해 나타나고 있다. 이는 조기파괴기준의 결과와 일치되는 것이다.

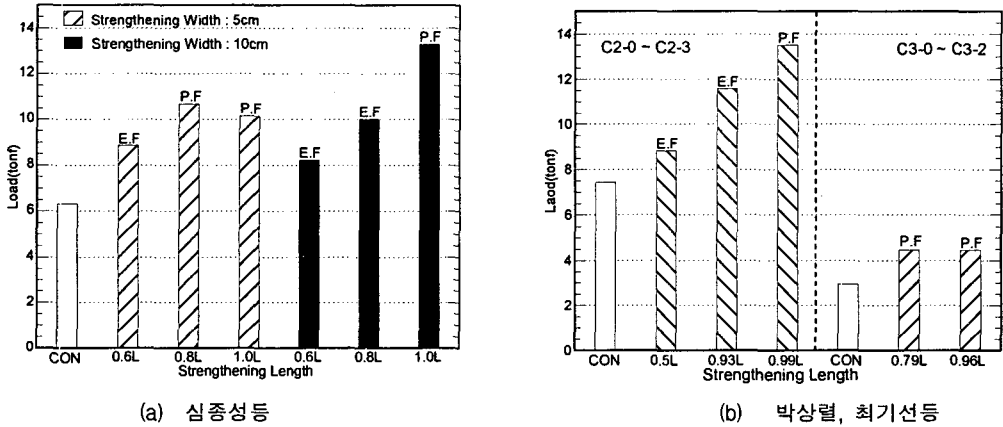


그림3. 보강길이에 따른 하중의 변화

5. 결론

본 논문에서 기존 문헌의 실험결과를 이용하여 제안한 조기파괴기준의 타당성을 검증한 결과 조기파괴는 제안된 조기파괴기준대로 기본보강길이보다 작은 경우는 단부박리파괴가 긴 경우는 부착파괴가 발생하고 하중의 변화도 보강량과 보강길이에 따라 조기파괴기준대로 나타나고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 제안된 FRP보강 RC보의 조기파괴기준은 타당한 것으로 결론내릴 수 있다.

참고문헌

1. 박상열 등, "CFRP판 으로 부착된 R.C보의 복부정착 형태에 따른 보강효과" 대한토목학회논문집, 제23권, 제6호, pp.1113~1121
2. 박상열, "부착길이와 복부정착이 CFRP판으로 보강된 RC보의 휨보강효과에 미치는 영향" 콘크리트 학회논문집, 제14권, 1호, pp.645~652
3. 박상열, "탄소FRP쉬트로 휨 보강된 R.C보의 보강효과에 관한 연구" 대한토목학회논문집, 제21권 제 6-A호, pp.997~1005
4. 심중성 등, "탄소섬유 Laminate을 이용한 RC보의 효율적인 보강기법에 관한 실험적 접근" 대한토 목학회 학술발표회 논문집 (I), pp.221~224
5. 조재열, "외부 집착판으로 휨 및 전단보강된 철근콘크리트 보의 거동 및 해석" 서울대학교 박사학 위논문, pp.110
6. 최기선 등, "유리섬유 쉬트로 휨 보강된 RC보의 부착파괴 방지 상세에 관한 실험적 연구" 한국콘크 리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제15권, 1호(통권 제 28집), pp.531~536