

강판 및 섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 보의 매개변수 분석

Parameter Study on R.C. Beam Strengthened with Steel Plate and Fiber Sheet

유영준*, 박종섭*, 박홍석**, 정우태*
You, Young Jun Park, Hung Seok Park, Jong Sup Jung, Woo Tai

ABSTRACT

This paper presents F.E.M. analysis result about the behavior of R.C. beam repaired with steel plate and fiber sheet. The effect of repairing varies with reinforcement ratio of R.C. beam, plate thickness, numbers of fiber sheet, and repairing length, etc. F.E.M. analysis using a program, DIANA, was carried out taking these factors as parameter in this study. Analysis result shows that repaired R.C. beam behaves differently according to parameters and certain cases imply that repairing is useless or may lay structure in dangerous condition.

F.E.M. model considers that interfacial behavior between different two parts of repaired beam is rigid based on an assumption that adhesive failure does not appear before yielding of reinforcement and its analysis shows the result coincides with that of experiment.

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 시공 전, 후에 발생하는 내·외적인 요인으로 인한 손상, 즉 균열, 박리 및 표면붕괴 등이 발생하여 보수·보강해야 하는 경우가 발생한다. 이에 다양한 보강공법과 보강재료가 개발되었으며, 국내에서 가장 실적이 많은 보강공법은 섬유공법과 강판접착공법, 외부프리스트레스 도입공법 등이다¹⁾. 그러나, 이들 공법들이 국내에 도입된 기간이 충분하지 않아서 시공자료 및 보강 후의 성능향상 정도에 대한 자료의 축적이 미진한 실정이고, 현장 적용시 각 공법의 역학적 특성에 대한 이해부족으로 보강된 구조물에 대한 상태등급을 하향 평가하거나 재보수하는 등의 경제적 손실을 초래하고 있다.

이에 본 연구에서는 기존 실험자료를 근거로 하여 섬유쉬트와 강판으로 보강된 철근콘크리트 보의 거동을 유한요소법으로 모사(simulation)함으로써 보강 상태에서 보의 거동과 보강효과를 파악하였다.

보강효과는 대상 구조물의 단면제원과 보강량에 따라서 달라지므로, 본 연구에서는 기존 실험결과와의 비교를 통해 유한요소해석의 타당성을 검증한 후, 철근콘크리트 보의 철근량과 보강량(보강길이, 보강두께, 섬유쉬

* 한국건설기술연구원 연구원 ,

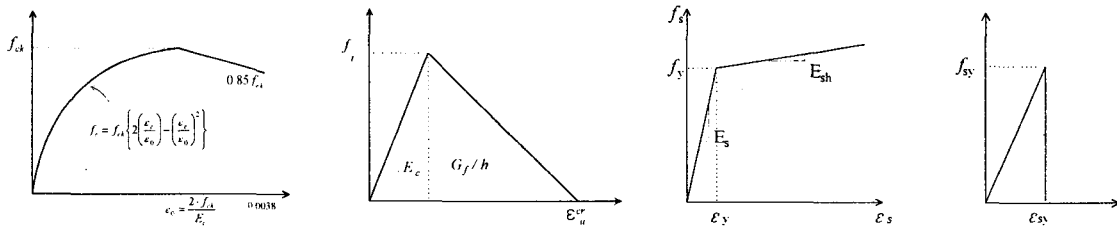
** 한국건설기술연구원 선임연구원

트 적층수)의 상호조합을 매개변수로하여 범용 유한요소해석 프로그램인 DIANA를 이용하여 해석을 실시하였다. 해석결과, 유한요소법을 이용하여 보강재로 보강된 구조물의 거동을 유사하게 모사할 수 있었다. 따라서, 본 연구의 수행방법을 통해 보강이 필요한 구조물이나 보강된 구조물의 보강효과를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 유한요소해석을 위한 모델링

2.1 재료 및 요소

유한요소해석에 사용된 콘크리트의 재료모델은 압축에 대해 Hognestad²⁾가 제안한 압축응력-변형률도를 따라 거동하는 모델을 사용하였으며, 인장력에 대한 콘크리트의 거동은 Tension softening을 고려하여 콘크리트의 인장강도 이후는 선형으로 응력이 감소하는 모델을 사용하였다³⁾. 콘크리트 속의 철근은 bilinear 모델을 사용하였으며, 보의 외부에 부착되는 강판에 대해서도 철근과 같은 거동을 하는 것으로 고려하였다. 섬유보강재는 인장응력 이후 보강재가 파괴되는 취성재료이다. 따라서 보강재의 응력-변형률선도는 탄성재료로 모델링하였으며, 재료의 인장강도 이후에는 보강재가 파단되도록 하였다. 이를 <그림 1>~<그림 4>에 나타내었다.



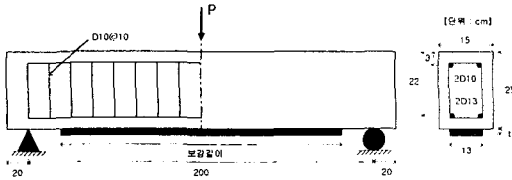
<그림 1> 콘크리트 압축거동 <그림 2> 콘크리트 인장거동 <그림 3> 철근 인장거동 <그림 4> 섬유шит 인장거동

유한요소해석을 위한 요소(element)는 각 재료에 대해 콘크리트는 4 nodes plane stress 요소, 철근은 rebar 요소, 강판과 탄소섬유에 대해서는 2 nodes beam 요소를 사용하여 모델링하였다. 철근콘크리트 보와 각종 보강재 사이의 접착제는 모델링하지 않았으며, 보강재와 보는 강결되어 일체 거동하는 것으로 고려하였다.

2.2 철근콘크리트 보의 제원

모델링의 적합성을 검증하기 위하여 기존 실험연구의 결과⁴⁾와 비교하였으며, 문헌에서 사용된 콘크리트 보의 제원과 각 재료의 물성은 각각 <그림 5>와 <표 1>과 같다. 이 연구에서는 강판의 보강길이, 보강두께, 탄소섬유의 적층수를 매개변수로 하는 실험을 수행하였으며, 실험변수에 따른 시험체명은 <표 2>와 같다.

본 연구에서는 기존 문헌의 제원과 재료성질을 사용하여 동일한 매개변수에 대한 해석을 수행하였으며, 그 결과를 <표 3>에 나타내었다. <표 3>에 따르면 본 연구의 해석결과는 항복하중에 있어서는 기존의 실험결과와 비교적 잘 일치하고 있으나, 파괴하중에서 강판의 경우에는 다소 오차가 있는 것으로 나타나고 있는데, 이는 본 해석에서 보강재와 보를 완전접착으로 가정한 때문으로 판단된다.



<그림 5> 시편 제원

<표 1> 철근, 강관 및 탄소섬유쉬트의 물성(kg/cm²)¹⁾

	종 류	항복강도	인장강도	탄성계수
철근	D10	4650	6,700	2.04×10 ⁶
	D13	4650	6,700	2.04×10 ⁶
강관	SS41	2380	3,400	1.8×10 ⁶
탄소섬유	FTS-C1-20	-	35,500	2.35×10 ⁶

<표 2> 실험변수에 따른 모델명⁴⁾

변수	보강관		모델명
	길이(m)	두께(mm)	
-	-	-	CONTROL
강관 길이	0.8	2.3	L08T23
	1.5	2.3	L15T23
	1.9	2.3	L19T23
강관 두께	1.5	3.3	L15T33
	1.5	4.3	L15T43
탄소 섬유	1.5	0.11	L15C1
	1.5	0.22	L15C2

<표 3> 시험체에 대한 실험값과 해석값 (ton)

변수	모델명	항복하중		최대하중	
		실험값	해석값	실험값	해석값
-	CONTROL	4.8	4.88	5.4	5.58
강관 길이	L08T23	-	7.32	5.1	8.52
	L15T23	-	8.07	7.7	9.00
	L19T23	9.2	8.07	10.3	9.00
강관 두께	L15T33	-	9.45	7.6	10.4
	L15T43	-	10.4	7.3	11.3
쉬트 매수	L15C1	4.6	5.44	7.1	7.29
	L15C2	4.9	6.03	8.6	9.50

3. 매개변수에 따른 유한요소해석

3.1 매개변수

다양한 조건에서의 보강효과를 분석하기 위해 탄소섬유 외에 유리섬유와 아라미드섬유에 대해서도 해석을 실시하며, 다양한 보강길이와 철근콘크리트 보의 철근비, 섬유쉬트의 보강길이, 섬유쉬트의 적층수 등의 변수를 추가하여 해석하였다.

유한요소해석에 사용되는 재료의 물성은 앞의 실험에서 사용되었던 재료성질(표 1)과 같으며, 유리섬유와 아라미드섬유의 재료 성질은 다음 <표 4>와 같다. 또한, 각 변수에 대한 해석모델을 무보강 보(CONTROL)를 기준으로 보강길이(L)와 두께(T), 섬유종류(Carbon, Glass, Aramid), 철근비(ρ)에 대해 해석모델명을 정하여 <표 5>~<표 8>에 정리하였다.

무보강 보의 철근비는 최대철근비의 55%에 해당된다. 철근비에 따른 변화를 관찰하기 위해 최대철근비의 27%와 최대철근비를 가진 무보강 보를 모델링(R27-CONT, RMAX-CONT)하여, 각 철근비에서 보강효과를 검토하였다.

3.2 해석결과

3.2.1 강관 보강길이에 대한 보강효과

<표 4> 유리 및 아라미드섬유쉬트의 물성(kg/cm²)

	인장강도	탄성계수
유리	5,600	2.6×10^5
아라미드	21,000	1.2×10^6

<표 5> 강판의 실험변수에 따른 해석모델

변수	길이 (m)	두께 (mm)	$\rho_{보} / \rho_{max}$	해석모델명
	-	-	55%	CONTROL
	-	-	27.5%	R27-CONT
	-	-	100%	RMAX-CONT
강판 길이	0.4	2.3	55%	L04T23
	0.8	2.3	55%	L08T23
	1.2	2.3	55%	L12T23
	1.5	2.3	55%	L15T23
	1.9	2.3	55%	L19T23
강판 두께	1.2	3.3	55%	L12T33
		4.0	55%	L12T43
	1.5	3.3	55%	L15T33
		4.0	55%	L15T40
철근비	1.2	2.3	27.5%	L12T23R27
			100%	L12T23RMAX
		3.3	27.5%	L12T33R27
	100%		L12T33RMAX	
	4.0		27.5%	L12T40R27
		100%	L12T40RMAX	

<표 6> 탄소섬유쉬트의 실험변수에 따른 해석모델

길이 (m)	$\rho_{보} / \rho_{max}$	두께 (mm)	매수	해석모델명
-	55%	-	-	CONTROL
-	27.5%	-	-	R27-CONT
-	100%	-	-	RMAX-CONT
1.5	55%	0.11	1	L15C1
		0.22	2	L15C2
		0.33	3	L15C3
	27.5%	0.11	1	L15C1R27
		0.22	2	L15C2R27
		0.33	3	L15C3R27
	100%	0.11	1	L15C1RMAX
		0.22	2	L15C2RMAX
		0.33	3	L15C3RMAX
0.8	55%	0.11	1	L08C1
		0.22	2	L08C2
		0.33	3	L08C3

두께가 같은 강판에 대해 보강길이를 변수로 하여 해석한 결과, <표 9>에서 보듯이 무보강 보(CONTROL)에 비해 모두 강도가 커지는 것을 확인할 수 있었다. 강판과 철근의 항복순서는 모든 해석모델에서 강판이 먼저 항복하고 철근이 항복하는 양상을 보였으나, 모델 L04T23의 경우에만 철근과 강판의 항복 순서가 뒤바뀐 것이 관찰되었다. 이는 보강길이가 상대적으로 짧아서 응력이 고루 분산되지 못하고 집중되어 철근이 힘을 크게 부담하게 되어 먼저 항복하는 것으로 판단된다. 또한, 해석모델 L12T23, L15T23, L19T23의 경우에는 하중-처짐도가 거의 같은 모양으로 나타나는데, 이로써 보강길이가 어느 정도의 길이를 넘어서면 더 이상 변수가 되지 않는 것으로 판단된다.

하중단계에 따른 균열의 진행상태는 보강길이가 일정길이 이상인 경우(L12T23)에는 보 중앙부의 균열이 보 강재 단부로 전파되어 고루 분포되는 양상을 보이고 있으나, 보강길이가 짧은 경우(L04T23)에는 보강재 단부를 중심으로 균열이 전파되고 있는 것으로 확인되었다. 결국, 보강길이가 짧은 경우에는 보강재 단부에 과도한 응력집중으로 인하여 이 위치의 철근이 먼저 항복하게 되고, 충분한 보강길이가 확보된 경우에는 균열이 고르게 퍼져서 강판이 먼저 항복하게 되며 철근의 항복도 보의 중앙부로부터 시작된다.

각 해석모델에 대해 박리균열이 발생하는 시점의 균열도를 <그림 6>에 나타내었다. 박리균열의 발생은

<표 7> 유리섬유쉬트의 실험변수에 따른 해석모델

길이 (m)	$\rho_{보} / \rho_{max}$	두께 (mm)	매수	해석모델명
-	55%	-	-	CONTROL
-	27.5%	-	-	R27-CONT
-	100%	-	-	RMAX-CONT
1.5	55%	1.3	1	L15G1
		2.6	2	L15G2
		3.9	3	L15G3
	27.5%	1.3	1	L15G1R27
		2.6	2	L15G2R27
		3.9	3	L15G3R27
	100%	1.3	1	L15G1RMAX
		2.6	2	L15G2RMAX
		3.9	3	L15G3RMAX
0.8	55%	1.3	1	L08G1
		2.6	2	L08G2
		3.9	3	L08G3

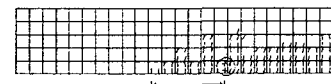
<표 8> 아라미드섬유쉬트의 실험변수에 따른 해석모델

길이 (m)	$\rho_{보} / \rho_{max}$	두께 (mm)	매수	해석모델명
-	55%	-	-	CONTROL
-	27.5%	-	-	R27-CONT
-	100%	-	-	RMAX-CONT
1.5	55%	0.193	1	L15A1
		0.386	2	L15A2
		0.579	3	L15A3
	27.5%	0.193	1	L15A1R27
		0.386	2	L15A2R27
		0.579	3	L15A3R27
	100%	0.193	1	L15A1RMAX
		0.386	2	L15A2RMAX
		0.579	3	L15A3RMAX
0.8	55%	0.193	1	L08A1
		0.386	2	L08A2
		0.579	3	L08A3

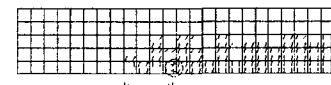
보강재가 콘크리트를 물고 떨어지는 박리파괴의 가능성을 의미하고, 철근의 항복, 강판의 항복, 박리파괴의 세 가지 메커니즘이 어떤 순서로 진행되는지가 콘크리트 구조물의 파괴메커니즘을 지배하게 된다. L19T23를 제외한 모든 모델에서 보강재의 단부에서 박리균열이 발생하고 있음을 알 수 있었으며, 보강길이가 길어질수록 보강재의 단부와 지점 사이의 균열범위가 좁아지며 보강재 단부쪽으로 옮겨지고 있는 현상을 볼 수 있다.

3.2.2 강판 보강두께에 따른 보강효과

해석결과(표 9) 보강효과는 두께에 따라 증가하고 있는 것을 알 수 있었다. 그러나, 일반적으로 강판 보강의 경우 지배적인 파괴모드는 휨 파괴가 아니라 박리나 rip-off에 의한 파괴로 알려져 있고, 강판의 두께가 일정량 이상이 되면 파괴하중이 오히려 감소하는 것으로 보고⁵⁾된 바 있으므로, 본 연구의 해석결과는 변수에 따른 경우의 수가 다소 부족하였고, 강판과 보를 완전접착으로 고려하여 박리파괴를 모사하지 못



(a) L08T23(4.75ton)



(b) L12T23(6.18ton)



(c) L15T23(7.84ton)



(d) L19T23(8.19ton)

<그림 6> 해석모델의 박리균열 발생

하므로 본 해석결과로 강판두께에 따른 항복이후의 구조적 거동을 평가하기는 다소 미흡한 것으로 판단된다 따라서, 차후 강판과 보의 계면특성을 모델링하여 박리나 rip-off에 의한 파괴거동을 연구해야 할 것이다.

3.2.3 보의 철근비와 보강두께에 따른 보강효과

철근콘크리트 보를 강판으로 보강하였을 때에는 강판이 철근과 같은 성질을 가지고 있으므로 철근비에 대

한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 철근비의 영향을 검토하기 위해 기존 보의 철근비의 반으로 배근한 보와 최대철근비로 배근한 보에 대해 해석을 수행하였고, 각 경우에 다시 강판의 두께를 변화시켜가며 해석을 수행하였다. 보강길이는 1.2m이다.

해석결과(표 9)를 보면 철근비가 같은 상태일 때, 보강판의 두께 증가에 따른 보강효과가 뚜렷한 경향을 나타내지 않는 것으로 나타났다. 여기서도 역시 보와 강판이 강결되어 있다는 가정이 포함돼 있으므로 철근과 강판의 파괴순서를 살펴보면 보의 철근비와 강판의 두께 사이에는 아주 복잡한 관계가 있는 것으로 판단된다. 일단 전체적인 철근비가 크게 되면(L12T40R27, L12T40RMAX) 철근 항복시 균열이 보강판 단부에 집중되어 사인장 균열로 진행되고 있음에도 강판은 항복하지 않은 상태이기 때문에 강판의 보강이 오히려 급격한 파괴를 일으키는 인자로 작용할 수 있다. L12T23R27, L12T23RMAX, L12T33RMAX 모델의 경우 그

파괴순서가 강판 다음에 철근이 항복하는 순서로 확인되었는데, 본 연구의 가정에 비추어 볼 때 균열→강판항복→철근항복의 파괴메카니즘은 합당하다고 말할 수 있다. 그러나, 모델 L12T23R27의 경우 파괴순서는 위와 같지만 균열도를 살펴보면 보강판 단부에서의 사인장 균열이 지배적인 것으로 확인되었다. 따라서, 이 경우에도 급격한 파괴가 일어날 가능성이 있다.

하중상태에 따른 균열상태를 살펴보면, L12T23R27, L12T33R27, L12T40R27 모델의 경우 하중이 증가함에 따라 균열이 보의 중앙부로부터 전파되어 보강판 단부에서 사인장균열로 발전되어가고 있는 것을 확인할 수 있지만, L12T40RMAX 모델의 경우에는 보의 중앙부 균열에 비해 보강판 단부에 균열이 집중되어 발전하고, 지점부근의 사인장균열이 발생하므로 이 경우에도 급격한 파괴를 일으킬 것으로 판단된다. 따라서, 본 해석에서는 L12T23RMAX과 L12T33RMAX의 경우가 고른 균열분포와 파괴순서 측면에서 볼 때 유리한 보강이라고 판단할 수 있다. 결과적으로, 강판으로 보강하여 전체 단면에 대한 철근비가 증가하면 내력은 커지지만 급격한 파괴 가능성 등으로 인해 오히려 구조물에 불리하게 작용할 수 있다. 또한, 보와 강판에 의한 전체 단면의 철근비가 비슷하더라도 그 거동은 다른 것으로 나타났다. 따라서, 보강판의 두께 산출에는 반드시 구조물의 철근비에 대한 조사가 이루어져야 한다. 그러므로, 차후에 보와 강판 사이의 계면거동을 구현하여 구조물의 철근비에 따른 합리적 보강두께 산출에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

3.2.4 섬유쉴트의 매수와 보강길이에 따른 보강효과

세 가지 섬유쉴트에서 공통적으로 보강매수가 증가할수록 항복하중과 최대하중도 증가하는 양상을 보여, 섬유쉴트의 보강매수는 보의 강도 증진에 효과가 있음을 나타내고 있다. 그러나, 같은 적층수에 대해 보강길이를 길게 하는 것은 항복하중에 거의 영향을 미치지 않고 최대하중의 크기를 증가시키는 효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 9> 강판보강에 대한 해석값(ton)

변수	해석모델	항복하중		최대하중	
		해석	보강효과비	해석	보강효과비
-	CONT	4.88	-	5.58	-
보강길이	L04T23	5.48	1.12	6.49	1.16
	L08T23	7.32	1.50	8.52	1.53
	L12T23	8.06	1.65	9.00	1.61
	L15T23	8.07	1.65	9.00	1.61
	L19T23	8.07	1.65	9.00	1.61
보강두께	L12T33	9.45	1.94	10.5	1.88
	L12T40	9.40	1.93	11.3	2.03
	L15T33	9.45	1.94	10.4	1.86
	L15T40	10.4	2.13	11.3	2.03
철근비	L12T23R27	5.97	2.29	6.61	2.23
	L12T23RMAX	9.27	1.07	10.27	1.10
	L12T33R27	5.81	2.23	7.22	2.43
	L12T33RMAX	12.9	1.49	12.97	1.39
	L12T40R27	5.86	2.25	6.73	2.27
	L12T4RMAX	14.8	1.71	18.1	1.94

그러나, 본 해석결과는 보와 보강재는 완전접착된 상태를 고려했기 때문에 보강량(적층수, 보강길이)를 계속적으로 증가시키는 것이 항복하중과 최대하중의 크기를 계속적으로 증가시킬지의 여부에 관한 내용은 설명할 수 없다. 이는 차후 실험을 통한 계면요소의 재료성질을 모델링하여 밝혀내야 할 것이다.

3.2.5 보의 철근비와 섬유쉬트 매수에 따른 보강효과

철근콘크리트 보를 섬유쉬트를 사용하여 보강할 경우, 기존보의 철근비에 따른 섬유쉬트 보강효과를 조사하기 위하여 섬유쉬트를 1, 2, 3층으로 쌓아가며 보강길이 1.5m인 경우에 대해 기존 보의 철근비를 변수로 하여 해석을 실시하였다.

해석결과(표 11) 세 가지 섬유쉬트 모두 철근비가 높을수록 강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 섬유쉬트와 보의 강결되어 있기 때문에 철근비가 커질수록, 적층수가 많아질수록 보의 내력이 증가하여 발생하는 현상이다. 또한, 같은 적층수 내에서 철근비가 높아질수록 보강효과비가 줄어들고 있는데, 이는 섬유쉬트가 부담해야 할 내력의 크기가 작아지기 때문이다.

따라서, 앞의 결과로부터 철근비가 높고 섬유쉬트의 적층수가 많아질수록 강도가 증가하는 것을 알았지만, 경제적이고 최적의 상태로 보강하기 위해서는 기존 구조물의 철근비를 구해야 한다는 것을 알 수 있다.

<표 10> 보강길이와 매수에 따른 결과 (ton)

섬유쉬트 종류	시험체명	항복하중		최대하중	
		해석	보강 효과비	해석	보강 효과비
-	CONT	4.88	-	5.58	-
탄소	L08C1	5.44	1.11	7.16	1.28
	L08C2	6.21	1.27	8.27	1.48
	L08C3	6.49	1.33	8.69	1.56
	L15C1	5.44	1.11	7.29	1.31
	L15C2	6.03	1.24	9.50	1.7
	L15C3	6.17	1.26	11.51	2.06
유리	L08G1	5.56	1.14	8.41	1.51
	L08G2	6.39	1.31	8.59	1.54
	L08G3	6.60	1.35	8.52	1.53
	L15G1	5.83	1.19	9.04	1.62
	L15G2	6.40	1.31	12.77	2.29
	L15G3	6.76	1.39	15.39	2.76
아라미드	L08A1	5.44	1.11	7.31	1.31
	L08A2	5.61	1.15	8.38	1.50
	L08A3	6.41	1.31	8.38	1.50
	L15A1	5.49	1.13	7.24	1.30
	L15A2	5.69	1.17	9.64	1.73
	L15A3	6.41	1.31	11.5	2.06

<표 11> 섬유쉬트의 적층수와 보의 철근비에 따른 비교(보강길이 1.5m)

섬유쉬트 종류	$\rho_{보} / \rho_{max}$	적층수 (매)	항복하중 (ton)	보강 효과비	최대하중 (ton)	보강 효과비
cont	27.5%	-	2.61	-	2.97	-
	100%	-	8.64	-	9.31	-
탄소	27.5%	1	3.00	1.15	4.95	1.67
		2	3.37	1.29	7.26	2.44
		3	3.80	1.46	8.97	3.02
	100%	1	9.00	1.04	10.66	1.15
		2	9.45	1.09	12.72	1.37
		3	10.21	1.18	14.64	1.57
유리	27.5%	1	3.27	1.25	6.88	2.32
		2	3.72	1.43	10.22	3.44
		3	4.42	1.69	9.26	3.12
	100%	1	9.44	1.09	12.40	1.33
		2	9.83	1.14	15.84	1.70
		3	10.61	1.23	18.60	2.00
아라미드	27.5%	1	2.98	1.14	5.04	1.70
		2	3.43	1.31	7.23	2.43
		3	3.73	1.43	9.31	3.13
	100%	1	8.83	1.02	10.00	1.07
		2	9.42	1.09	12.92	1.39
		3	9.88	1.14	14.90	1.60

4. 결론

본 해석은 보와 보강재가 완전접착된 상태로 고려하였기 때문에 보강된 보의 거동을 항복하중까지는 합리적으로 나타내 주지만, 최대하중까지의 거동은 대략적인 특성만 나타낼 뿐 명확히 나타내지는 못한다. 따라서, 차후에 실험을 통하여 접착면의 특성값을 얻어내고, 이를 바탕으로 계면요소를 모델링하여야 보강재로 보강된 보의 구조적 거동을 명확히 나타낼 수 있을 것이다.

4.1 강판보강

- 보강길이가 짧은 경우에는 보강효과를 기대할 수 없다.
- 보강두께의 증가에 따라 보강효과는 증가한다
- 보강판 두께로 인한 전단면의 철근비 증가는 구조물 거동에 복잡한 영향을 미치므로 보강판 두께를 산출함에 있어서 구조물의 철근비 조사가 이루어져야 한다.

4.2 섬유шит보강

- 섬유шит 보강은 강도는 증가시키지만 강성은 증가시키지 못한다. 따라서, 섬유шит 보강은 사용하중하에서는 처짐제어 효과가 거의 없는 것으로 판단된다.
- 보강길이 증가는 항복하중에는 영향을 미치지 않고 최대하중에만 영향을 미친다.
- 섬유шит 적층수와 기존 구조물의 철근비가 클수록 강도는 증가한다.

5. 감사의 글

본 연구과제는 '99건설교통부기술혁신사업의 일환으로 건설교통부의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 건설교통부, “콘크리트 교량의 보수·보강 재료 품질기준 및 공법 평가기준 개발”, 2000.
2. R. Park and T. Paulay, **Reinforcement Concrete Structures**, Wiley-Interscience publication, 1975.
3. TNO, **DIANA User's Manual - Nonlinear Analysis**, 2000.
4. 심종성, 배인환, “강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트보에 대한 해석적 연구”, 콘크리트학회지, 제9권, 6호, 1997, pp 129~137
5. 한국도로공사, “노후 콘크리트 부재의 보수·보강기법에 대한 실험적 연구”, 1996