

단면증설된 R/C보의 보수 · 보강 효과 연구

A Study on the Repair and Strengthening Effects of R/C Beams with Enlarged Section

오홍섭*	심종성**	이차돈***
Oh, Hong Seob	Sim, Jong sung	Lee, Cha Don
최완철****	홍기섭*****	신영수*****
Choi, Oan Chul	Hong, Ki Sub	Shin, Yeong Soo

Abstract

Reinforced Concrete structures need repair and rehabilitation due to the deterioration such as crack, spalling and disintegration. Numerous repair materials which are currently used in construction fields without any specifications are examined in terms of their serviceabilities and effectiveness.

In this paper sections of R/C beams are enlarged with repair material(epoxy, latex, premix), and then they are strengthened with rebar, steel plate or CFRP sheet on the tension side. Structural behavior of strengthened beams are investigated under static tests and compared with each parameters. keyword : Repair, Rehabilitation, Epoxy, Latex, Premix, Rebar, Steel Plate, CFRP sheet

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 설계상의 오류, 시공 및 유지관리의 문제로 인하여 구조물 공용기간 동안 보

-
- * 한양대학교 토목·환경공학과 박사과정
 - ** 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 부교수
 - *** 정회원, 중앙대학교 건축공학과 부교수
 - **** 정회원, 숭실대학교 건축공학과 부교수
 - ***** 정회원, 홍익대학교 건축공학과 부교수
 - ***** 정회원, 이화여자대학교 건축학과 조교수

수 및 보강의 필요성이 대두되게 된다. 본 연구에서는 부재의 강성을 높일 수 있는 방법으로서 일반 철근콘크리트보에 보수재(에폭시, 라텍스, 프리믹스)를 보하단부에 증타하고, 보강재(철근, CFRP, sheet, 강판)로 하단부를 보강하여 철근콘크리트보의 강성 및 강도의 증대효과를 비교, 고찰함으로써 각 재료에 따른 보수보강의 최적방법을 제안하고자 하였다.

2 실험계획

2.1 시험체의 설계 및 제작

보수·보강시험체의 설계변수로서 보수재(에폭시, 라텍스, 프리믹스)의 종류, 휨보강재(탄소섬유쉬트, 강판, 철근)의 종류, 측면보강재(강판, 탄소섬유쉬트) 및 보강위치(U형 보강 및 strip 보강)를 변수로 하여 시험체를 제작하였으며, 시험체의 상세는 그림 1에 나타내었다.

1) 보수

각 시험체는 에폭시, 라텍스, 프리믹스를 사용하여 높이 5cm의 단면으로 시험체 하부에 보수하였다.

2) 보강

① 강판보강

사용된 강판은 2.4mm의 두께로 휨보강의 경우 시험체 순지간(2.0m)에 걸쳐 에폭시 주입공법으로 보강되었으며, 강판과 시험체의 간격은 3mm으로 고정하였다.

측면보강은 강판strip의 경우는 에폭시 수지를 사용하여 압착공법으로 보강하였으며, 강판측면보강의 경우는 에폭시 주입공법으로 보강하였다.

② 탄소섬유쉬트보강

탄소섬유는 중탄성 섬유를 사용하여 보강하였다. 에폭시 시험체는 1장을 보강하였고, 라텍스, 프리믹스 시험체는 2장을 집착보강하였다.

③ 철근보강

철근보강의 경우 D13철근을 보수시에 각 2개씩 배근하여 보강하였으며, 철근뒹개는 2.0cm이다.

2.2 재하방법 및 측정방법

1) 재하방법

시험체의 정적시험은 그림 2와 같은 방법으로 에폭시보수 시험체의 경우는 3점재하를 실시하였으며, 라텍스, 프리믹스 보수시험체는 4점 휨재하를 실시하여 측면보강효과를 관찰하고자 하였다. 4점 휨재하시험에서의 가력거리는 70cm로 고정하여 시험체에 사인장 균열이 발생하도록 유도하였다.

2) 측정방법

시험체의 보수·보강효과를 평가하기 위하여 시험체 중앙부에서 하중-처짐량을 변위계를 사용하여 측정하였으며, 시험체의 인장측변형율을 측정하고자 철근에 철근 게이지를 부착하여 인장변형을 측정

하였다. 또한 콘크리트의 변형을 측정하고자 시험체 중앙부 옆면에 각 3개의 콘크리트 게이지를 부착하였다. 휨보강재의 변형은 보강단면의 중앙부에 철근게이지를 부착하여 측정하였으며, 시험체의 게이지 부착위치는 그림 2와 같다.

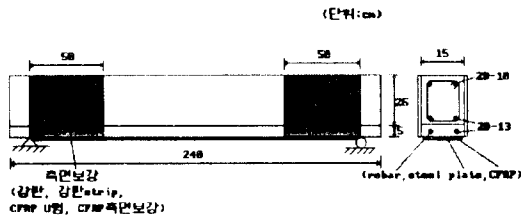


그림 1 보수·보강시험체 상세

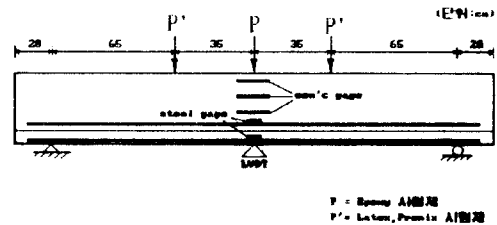


그림 2 시험체 가력방법 및 게이지 부착위치

3 실험결과

3.1 시험체별 최대하중 및 파괴양상

본 장에서는 각 보수·보강시험체의 균열발생과정과 파괴양상을 분석하고, 각 보수·보강재의 보강 특성정도를 고찰하였다.

시험체의 하중재하결과는 표 2와 같다. 기본시험체의 경우 전형적인 휨파괴형상을 나타내었으며, 전단부에서 사인장균열이 발생하여 가력점으로 진전, 파괴되었다(부록그림 참조).

에폭시보수시험체의 경우 보수재의 뛰어난 부착특성으로 인하여 인장부 보강방법에 관계없이 시험체 중앙하부의 주균열이 진전, 발전되어 파괴되는 양상을 나타냈으며, 전단부는 균열이 발생하지 않았다. 또한 구콘크리트와 보수재사이의 계면은 거의 일체거동을 하는 것으로 관찰되었다. 탄소섬유보강 시험체의 경우 시험체 중앙부에서 파단되지 않고, 시험체 중앙부에서 양 지점으로 50cm 정도 떨어진 곳에서 탄소섬유가 갈라져서 파단되는 양상을 나타내었다(부록그림참조).

라텍스보수시험체의 경우 시험체 중앙부에 여러 미세휨균열이 발생하여 하중이 증가함에 따라 진전되는 형태를 나타냈으며, 대부분의 시험체에서 구콘크리트와 보수재와의 부착상태는 양호하였다. 사인장균열은 보강보강부가 끝나는 곳에서 발생하여 가력점으로 진전되었으며, 압축단파괴를 일으켰다. 탄소섬유쉬트(2장)로 보강한 시험체는 전단보강방법에 따라 파괴양상이 큰 차이를 나타냈으며, 탄소섬유쉬트로 측면만 보강한 경우 인장부 탄소섬유쉬트는 파단되지 않고 하중이 증가함에 따라 지점부에서부터 보수재와 탄소섬유쉬트의 접착이 떨어져 나가 파괴되는 형태를 나타냈다. 그러나 전단부를 U형으로 보강한 경우 탄소섬유측면보강보다 하중이 증가하며 전단보강부위에서 탄소섬유가 파단음과 함께 갑작스럽게 파괴되었다.

프리믹스보수시험체의 일반적인 파괴양상은 라텍스 시험체의 경우와 거의 유사하였으며, 탄소섬유로 휨보강한 시험체의 경우 구콘크리트와 보수재가 분리되는 경향을 나타내었다(부록그림참조).

표2 시험체분류 및 시험결과

시험 번호	시험체명	가력 방법	균일하중 (TON)	최대하중 (TON)	파괴양상
기본 시험체	CONS	4점 재하	3.0	9.14	휨파괴, 사인장균열 발생
에시 폭험 시체	RE-E-CS	3점 재하	7.0	11.0	휨파괴후 압축단파괴
	RE-E-CU		5.0	10.52	휨파괴후 압축단파괴
	RE-E-SS		5.0	10.75	휨파괴후 압축단파괴
	CF1-E-CS		4.4	6.2	휨파괴후 계면을 따라 균열진행
	CF1-E-CU		4.0	5.87	휨파괴후 계면을 따라 균열진행
	SP-E-SS		6.8	9.67	휨파괴후 압축단파괴
라시 텍험 스체	RE-L-CS	4점 재하	5.5	14.13	휨파괴
	RE-L-CU		2.0	14.5	휨파괴, 중앙부 미세휨균열발생
	RE-L-SS		2.7	14.77	휨파괴, 중앙부 미세휨균열발생
	CF2-L-CS		1.4	9.93	압축단파괴, 탄소섬유쉬트분리
	CF2-L-CU		1.9	12.85	계면파괴, 전단보강부위섬유파단취성파괴
	SP-L-SS		5.5	13.0	휨파괴, 전단균열발생, 철판박리
	RE-L-SU		2.5	14.94	휨파괴, 중앙부 미세휨균열발생
	RE-L-SU		2.5	14.6	휨파괴, 압축단파괴
프시 리험 믹체 스	RE-P-CS	4점 재하	1.7	15.25	휨파괴, 중앙부 미세휨균열발생
	RE-P-CU		2.5	14.6	휨파괴, 압축단파괴
	RE-P-SS		2.6	14.83	휨파괴, 중앙부 미세휨균열발생
	CF2-P-CS		2.0	10.93	계면파괴, 탄소섬유쉬트분리
	CF2-P-CU		1.5	14.13	계면파괴, 전단보강부 탄소섬유쉬트 파단, 취성파괴
	SP-P-SS		4.5	12.68	지점계면파괴, 사인장균열발생

여기서, RE : 철근보강, CF : CFRP sheet 보강, SP : 강판보강, E : 에폭시, L : 라텍스, P : 프리믹스, CU : 탄소섬유 U형 측면보강 CS : 탄소섬유 측면보강 SS : 강판 strip 측면보강, SU : 강판 측면보강

3.2 보수재에 따른 보강시험체별 하중-변위관계

(1) 기본시험체와 에폭시보수시험체

그림3은 에폭시보수시험체와 기본시험체의 하중처짐곡선을 나타내었다.

기본시험체의 경우 초기균열하중이후에도 거의 선형적인 거동을 하고 있으며, 항복이후에도 연성적인 거동을 하는 것으로 관찰되었다. 에폭시보수시험체 중에서 인장부 철근보강시험체(RE-E-CS, RE-E-CU, RE-E-SS)의 경우 전단부 보강형태에 관계없이 강성 및 최대강도는 거의 유사한 결과를 나타내고 있다. 탄소섬유보강시험체(CF-E-CU, CF-E-CS)의 경우 탄소섬유가 파단될 때 하중이 순간적으로 감소하나, 완전히 파단된 후에는 기본 시험체 자체의 내하력으로 일정하중을 지지하는 것을 볼 수 있다. 또한 철근보강시험체와 비교하여 상대적으로 높은 휨강성을 나타내고 있다. 탄소섬유보강 시험체의 강도가 철근보강시험체의 경우에 비하여 작게 나타난 이유는 탄소섬유쉬트의 설계하중자체가 철근보강의 경우와 비교하여 상대적으로 작게 설계되었기 때문이다. 강판보강시험체의 경우 강성은 철근보강시험체의 경우보다 약간 작은 것으로 나타났으나, 전반적인 거동의 거의 유사한 것으로 나타났다.

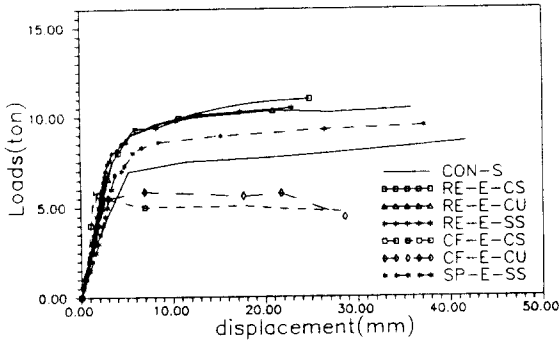


그림 3 기본시험체와 에폭시보수시험체 하중-처짐곡선

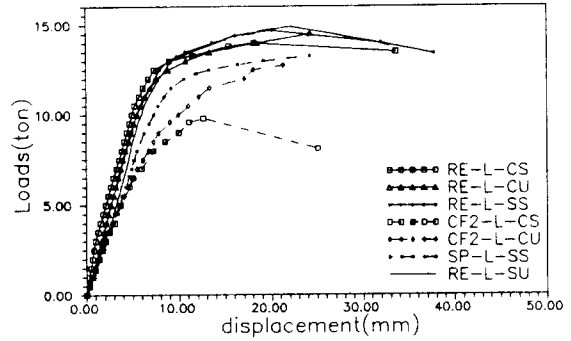


그림 4 라텍스보수시험체의 하중-처짐곡선

(2) 라텍스보수시험체의 하중-처짐곡선

라텍스 시험체의 경우 최대강도는 철근보강시험체의 경우가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 보수재와의 부착성능에 의한 영향이 있는 것으로 판단된다. 휨강성 역시 철근보강의 경우가 가장 크게 나타났다. 2장의 탄소섬유로 보강한 탄소섬유보강시험체의 경우 U형으로 측면을 보강한 경우(CF2-L-CU) 최대강도후 시험체가 파단음과 함께 측면보강부위의 탄소섬유가 파단되면서 완전히 파괴되는 형태를 나타내는 취성파괴를 일으켰다. 측면만을 보강한 경우(CF2-L-CS)에는 탄소섬유가 탈락되었기 때문에 최대강도가 가장 작게 나타났으며, 파괴하중 후 철근보강시험체에 비하여 하중처짐곡선의 기울기가 큰 것을 볼 수 있으며, 이는 시험체에서 탄소섬유가 탈락됨에 따라 내하력을 급격히 상실하였기 때문인 것으로 판단된다. 강판보강시험체(SP-L-SS)의 경우 전반적인 거동은 철근보강시험체와 유사하나, 휨강성이 작은 것으로 나타났으며, 이는 시험체와 강판의 slip에 의하여 강판의 완전한 인장보강효과를 나타내지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 그림 4에는 라텍스보수시험체의 변수별 하중-처짐 곡선을 나타내었다.

(3) 프리믹스보수시험체의 하중-처짐곡선

프리믹스 보수시험체의 휨강성과 강도는 철근보강시험체의 경우 측면보강종류와 무관하게 거의 동일하게 나타났으나, 탄소섬유보강시험체의 경우는 측면보강방법에 따라 파괴강도와 강도 후영역의 거동에 큰 차이를 보이고 있다. 탄소섬유로 인장보강한 시험체의 경우 항복점까지는 전단부 보강형태에 관계없이 동일한 거동을 보였으나, 전단부 측면만을 보강한 시험체(CF2-P-CS)의 경우 인장부 탄소섬유의 탈락으로 인하여 급격한 하중감소현상을 나타내었으며, U형으로 보강한 경우(CF2-P-CU)에는 탄소섬유의 파단시까지 하중이 증가하다가 급작스런 취성파괴 후 시험체가 완전히 파괴되었다. 강판보강시험체(SP-P-SS)의 경우 최대하중 후 곡선의 기울기가 급격히 증가하는 것은 강판의 특성에 의한 것이 아니라 보수재와 강판의 부착이 완전히 이루어지지 않아 강판이 탈락되며 발생한 것으로 판단된다. 그림 5에는 프리믹스시험체의 하중-처짐곡선을 나타내었다.

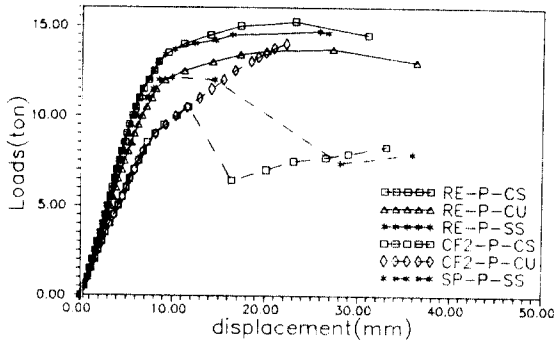


그림 5 프리믹스시험체의 하중-처짐곡선

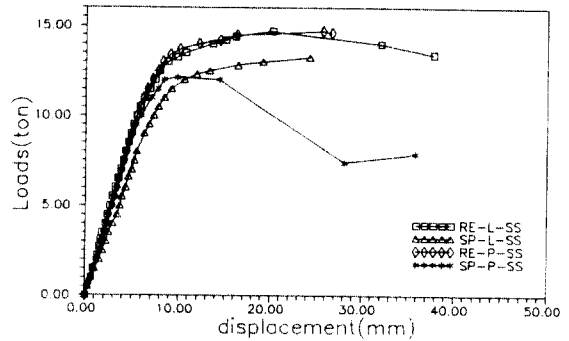


그림 6 강판보강시험체와 철근보강시험체의 하중-처짐곡선

3.3 인장보강방법에 따른 파괴양상 및 하중-변위관계

시험체 인장측에 강판 또는 철근으로 보강한 경우 라텍스시험체와 프리믹스시험체의 하중-처짐곡선을 그림 6에 나타내었다. RE-P-SS와 SP-P-SS시험체의 경우 사용하중하에서의 강성은 거의 동일한 것으로 나타났으나, 하중이 증가함에 따라 강판보강시험체(SP-P-SS)의 경우 강성이 작아지는 것을 볼 수 있으며, 이는 강판이 시험체와 완전한 일체거동을 하지 않고 slip이 일어나기 때문으로 판단된다.

특히 SP-P-SS시험체의 경우 파괴강도 후 거동에서 인장측 강판이 시험체에서 박리되면서 취성적인 거동을 하는 것을 볼 수 있으며 이러한 현상은 라텍스 시험체에서도 유사하게 나타났다. 라텍스 시험체(RE-L-SS, SP-L-SS)의 경우 초기균열하중까지의 거동은 휨보강의 종류에 따라 차이점은 없으나, 하중이 증가하면서 강판보강시험체의 경우 휨강성이 크게 줄어드는 것을 볼 수 있으며, 이는 휨보강재의 재료적 특성과 보수재와 보강재사이의 계면의 부착거동에 원인이 있다고 판단된다. 강판보강 시험체의 경우 보수재료의 종류에 관계없이 철근보강시험체에 비하여 발생균열의 수가 감소한 것을 볼 수 있으나, 발생균열의 폭은 철근보강시험체와 비교하여 상대적으로 큰 것으로 관찰되었다.

그림 7에는 철근보강시험체와 탄소섬유보강시험체의 하중-처짐곡선을 나타내었다. 라텍스, 프리믹스로 보수한 시험체에 철근 및 탄소섬유쉬트르 보강한 경우 철근보강 시험체(RE-L-CS, RE-P-CS)는 철근보강의 경우 강도 전 영역에서 충분한 강성과 강도 후 거동에서 충분한 인성을 확보한 것으로 나타났으나, 탄소섬유쉬트르 보강한 시험체의 경우(CF2-L-CS, CF2-P-CS) 강도 전 영역에서 강성이 작게 나타났으며, 탄소섬유와 보수재와의 부착성능의 불량으로 인하여 탄소섬유의 제 강도를 발휘하지 못하고 10ton 정도의 하중에서 파괴되었다. 이때 탄소섬유는 시험체에서 완전히 박리되었다. 또한 CF-P-CS시험체의 강도 후 영역에서 약 6ton 정도의 잔존내하력을 보이는 것은 무보수 시험체의 잔존내하력과 거의 유사한 결과를 나타내는 것이다.

탄소섬유쉬트르보강시험체의 경우 철근보강시험체에 비하여 휨강성이 작은 것은 탄소섬유의 slip에 주 연인이 있는 것으로 판단되며, 탄소섬유의 제강도를 발휘하기 위하여 탄소섬유에 사용되는 접착제의 성능향상과 그 계면에서의 부착거동 연구가 필요한 것으로 판단된다.

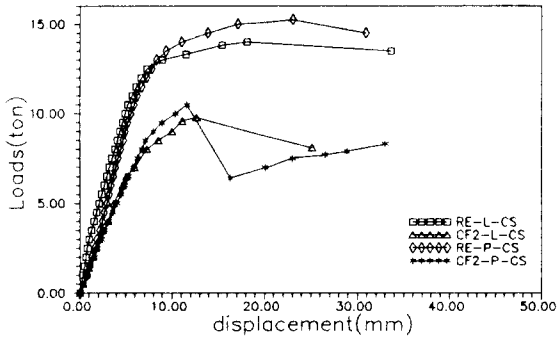


그림 7 철근보강시험체와 탄소섬유보강시험체의 하중-처짐곡선

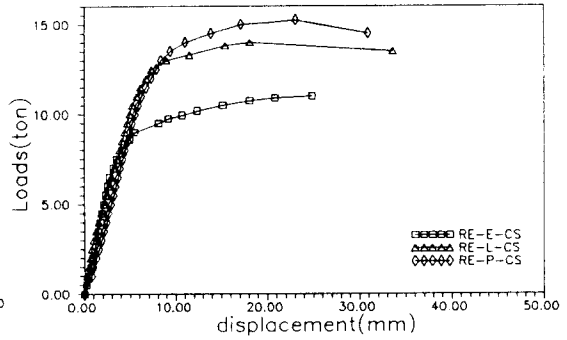


그림 8 보수재료별 하중처짐곡선 (RE-E-CS, RE-L-CS, RE-P-CS)

3.4 보수재료별 파괴양상 및 하중-변위관계곡선

그림 8에는 인장축이 철근으로 보강되고, 측면이 탄소섬유로 보강된 시험체를 각각의 보수재료(에폭시, 라텍스, 프리믹스)별로 하중처짐곡선을 나타내었다. 에폭시 시험체의 경우 3점재하 휨시험을 실시하였으며, 라텍스, 프리믹스시험체는 4점재하 휨시험을 실시하였다. 하중-처짐곡선을 살펴보면 세 시험체 모두 거의 동일한 강성을 나타내고 있으며, 최대강도 이후의 거동에서도 충분한 인성을 확보한 것으로 판단된다. 그러나 시험체별 균열을 살펴보면 에폭시 시험체의 경우 초기에 발생한 주균열이 진전되어 파괴되는 형상을 나타내었으나, 라텍스와 프리믹스 시험체의 경우는 여러개의 미소한 휨균열이 진전되어 파괴되는 형태를 나타내고 있다.

그림 9에는 강판으로 인장보강되고 강판 strip으로 측면보강된 시험체의 보수재료별 하중처짐곡선 (SP-E-SS, SP-L-SS, SP-P-SS)을 나타내었다. 프리믹스시험체(SP-P-SS)의 경우 강도전 영역의 강성은 라텍스 시험체(SP-L-SS)에 비하여 약간 크게 나타났다. 그러나 최대강도와 강도 후 영역의 인성은 라텍스 시험체가 보다 양호한 것으로 나타났으며, 이는 프리믹스 시험체의 경우 하중이 증가하면서 구콘크리트와 보수재사이의 계면이 파괴되면서 보강강판의 실내하력을 발휘하지 못하였기 때문인 것으로 판단된다.

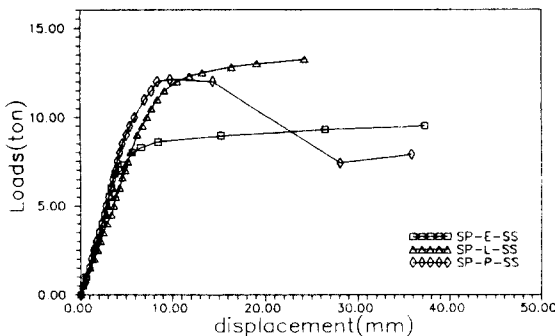


그림 9 보수재료별 하중처짐곡선 (SP-E-SS, SP-L-SS, SP-P-SS)

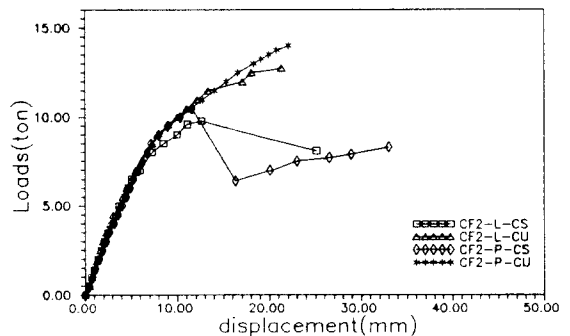


그림 10 보수재료별 하중처짐곡선 (CF2-L-CS, CF2-L-CU, CF2-P-CS, CF2-P-CU)

그림 10에는 탄소섬유로 인장보강되고, 탄소섬유쉬트로 측면보강된 시험체(CF2-L-CS, CF2-L-CU, CF2-P-CS, CF2-P-CU)의 하중처짐곡선을 보수재료별로 나타내었다. 사용하중 하에서의 거동은 보수재료와 보강방법에 관계없이 거의 유사한 결과를 나타내고 있으나, 하중이 증가함에 따라 탄소섬유로 측면만을 보강한 시험체(CF-L-CS, CF-P-CS)의 경우는 탄소섬유의 부착이 떨어지면서 내하력이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있으며 이는 보수·보강되지 않은 시험체의 잔존내하력으로 판단된다. 또한 라텍스 시험체의 경우는 프리믹스 시험체에 비하여 강성은 약간 작게 나타났다. 측면을 탄소섬유쉬트를 사용하여 U형으로 보강한 경우(CF2-L-CU, CF2-P-CU)는 보수재료에 관계 없이 거의 동일한 하중-처짐곡선을 나타내고 있으며, 파괴하중에 도달한 후에 섬유와 함께 측면보강부에서 인장보강섬유가 파단되는 급격한 취성파괴를 나타내었다.

4. 결 론

보수·보강된 보의 정적실험 결과 보수재료에 따라 동일한 보강조건하에서도 파괴양상 및 구조거동에 차이를 보였으며, 보강방법에 따라서도 실험결과는 큰차이를 나타내고 있다. 각 변수에 따른 실험 결과를 아래에 요약 정리하였다.

1. 보수재료의 경우 에폭시 시험체는 재료자체의 강도 및 구콘크리트와의 부착강도는 가장 우수한 것으로 나타났으나, 초기에 발생한 주균열이 발전하면서 파괴되는 취성적인 거동을 하였다. 라텍스 시험체는 강도는 프리믹스시험체와 거의 동일하였으나, 콘크리트와의 부착은 프리믹스에 비하여 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 프리믹스시험체의 경우 보수계면을 따라 균열이 발전되면서 보수재가 탈락되는 현상이 관찰되었다.
2. 인장보강방법의 경우 철근 보강을 한 경우 가장 우수하게 나타났으나, 발생균열이 다소 많이 나타났으며, 강판접착의 경우 강성 및 강도는 철근보강에 비하여 상대적으로 작게 나타났으며 보수재와의 접착이 탈락되면서 강도 후 영역에서 충분한 인성을 확보하지 못한 것으로 나타났다. 탄소섬유쉬트보강은 보강매수를 늘릴 경우 강도는 증가하였으나 최대강도에서 급격한 취성파괴를 일으켰으며, 보수재와의 부착성능에 문제가 있는 것으로 관찰되었다.
3. 강판strip으로 측면보강한 경우 사인장균열이 보강면을 따라 진전되었으나, 탄소섬유로 측면을 보강한 경우 발생한 사인장균열이 진전되지는 않으므로써 측면보강효과가 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 94년 건설기술연구개발사업과제의 연속과제로서 수행 중인 연구임을 밝히며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

● 참고문헌 ●

1. D.N.Trikha, S.C.Jain and S.K.Hall, "Repair and Strengthening of Damaged Concrete Beams", Concrete International, June, 1991, pp.53~59

2. Hamid Saadamanesh, Mohammad R.Ehsani, "RC Beams Strengthened with GFRP plates- I, II", Journal of Structural Engineering, Vol.117, No.11, ASCE, pp.3417~3455
3. 최완철, 홍기섭, 신영수, 홍영균, "에폭시접착강판으로 보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동연구", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제6권, 제1호, 1994, pp.25~29
4. 심종성, 홍영균 외 2명, "철근콘크리트구조물의 보수보강신기술개발", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제7권, 제1호, 1995, pp.207~211

부록그림 균열도

