

강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판으로 휨보강된

철근콘크리트 슬래브의 구조적 거동

Structural behavior of R/C Slabs Strengthened with Steel Plate, Carbon fiber sheets, and Carbon Fiber Laminate.

이영재*

문희중*

이경언**

정란***

정상진***

Lee, Young Jea Moon, Heui Jeung Lee, kyung Un Chung, Lan Jung, Sang J

Abstract

In recent years, strengthening by steel plate, carbon fiber sheets, and carbon fiber laminate is spotlighted in order to repair and rehabilitation of 'R/C slabs. In this study, 3 method of rehabilitation are analyzed from the tests. Test parameters are the width of cracks, the method of repair and rehabilitation, the magnitude of pre-load. Deflection, failure load, strains of reinforcing bar, strains of sheet and plates are measured during tests. The failure mode and separation load are analyzed from these measured data.

key words : Repair, Rehabilitation, Steel plate, Carbon fiber sheet, Carbon fiber laminate, Pre-load, Deflection, Failure mode

1. 서론

국내에서는 철근콘크리트구조체의 보강방법으로 강판, 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판을 사용하고 있다.^{1), 3)} 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판은 매우 큰 인장강도와 탄성계수를 가지고 있어서 강판보다 효율성이 높을뿐만 아니라 운반 및 취급이 용이하여 최근에 일반화 되어가고 있는 추세이다.^{3), 4)} 그러나 국내에서는 아직까지 이들의 사용에 대한 적용 기준과 상호평가가 미흡하고 처짐과 균열이 발생한 부재의 보수·보강에 대한 연구가 부족하고 미세균열에 대한 보수의 효율성 여부와 균열의 크기에 따른 여러재료의 보강효과에 대한 연구가 부족한 실정이다.

이 연구는 보수·보강의 재료로 강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판을 사용하는데 있어 균열폭이 서로 다른 철근콘크리트 슬래브에 대하여 보수를 수행할 때의 하중의 크기를 달리하여 보수·보강을 시행한 후 보강된 시험체를 재가력한 실험 결과를 분석함으로써 현장에서 실제로 수행되는 보수·보강효과를 보다더 현실에 맞게 검토하는데 연구의 목적이 있다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

시험체는 변수에 따라 11개를 제작하였으며 각 시험체의 크기는 장변이 2.4m, 단변이 1.0m 춤이 15cm이며 주근과 부근을 모두 D10으로 제작하였다.²⁾ 변형률측정기 설치위치는 주근의 중앙부에 시험체 마다 각각 2개씩 부착하였다. 보강은 시험체의 하부에 폭 10cm, 길이 2.2m로 각각의 보강재를 2군

* 정희원 단국대학교 건축공학과 석사과정
** 정희원 단국대학교 건축공학과 박사과정

*** 정희원 단국대학교 건축공학과 교수

데에 부착 시켰다.

2.2 사용재료

이 시험체의 제작에 사용된 재료의 역학적 성질은 콘크리트의 경우 270 kg/cm로 계획 하였으나 실제 압축강도 실험 결과 329 kg/cm로 나타났다.

보수 재료인 에폭시, 에폭시 모르타의 기본물성과 보강재료인 강판, 탄소섬유쉬트 및 탄소섬유판의 기본 물성은 표1과 표2에 나타나 있다.

표1 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판의 역학적성질

종류	인장강도 (kg/cm ²)	탄성률 (kg/cm ²)
탄소섬유쉬트	43600	2.45×10 ⁹
탄소 섬유판	19500	1.55×10 ⁹
강 판	3400	2.1×10 ⁶

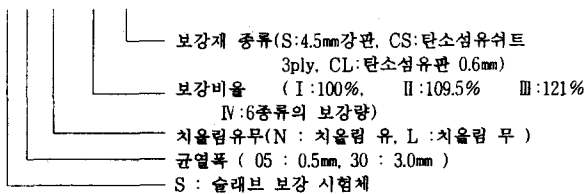
표2 균열보수 및 접착재료의 특성

종류	접착강도 (kg/cm ²)	비고
에폭시	42	보강용 주입제
에폭시	174	보강재 접착용
에폭시모르타	42.8	보강재 접착용

2.3 실험변수

시험체명	균열폭	보강재	보강길이 (지간에 대한 보강비율)	보수·보강시 하중재하 유·무
SN	-	-	-	-
S05N- I S	0.5	강판	2,200mm (100%)	하중 제거후 보수·보강
S05N- I CS	0.5	탄소섬유쉬트	2,200mm (100%)	하중 제거후 보수·보강
S05N- I CL	0.5	탄소섬유판	2,200mm (100%)	하중 제거후 보수·보강
S30L- I S	3.0	강판	2,200mm (100%)	하중 재하상태에서 보수·보강
S30L- I CS	3.0	탄소섬유쉬트	2,200mm (100%)	하중 재하상태에서 보수·보강
S30L- I CL	3.0	탄소섬유판	2,200mm (100%)	하중 재하상태에서 보수·보강
S30N- II CL	3.0	탄소섬유판	2,300mm (109.5%)	하중 제거후 보수·보강
S30N- III CL	3.0	탄소섬유판	2,300mm (121%)	하중 제거후 보수·보강
S30N- IV CL	3.0	탄소섬유판	2,200mm (100%)	하중 제거후 보수·보강
S30N- IV CS	3.0	탄소섬유쉬트	2,200mm (100%)	하중 제거후 보수·보강

S50N- I CS



2.4 슬래브 시험체 설치 상황

보강비율(100%, 109.5%, 128%)에 따라서 스패를 2100mm, 1800mm, 1500mm로 조정하여 하부 지지대에 부착시켰다. 보강재가 부착되지 않은 콘크리트면이 지점에 지지되도록 1cm두께의 철판을 하부 지지대 위에 부착시켜서 보강재가 하부 지지대와 직접 닿지 않도록 한다.

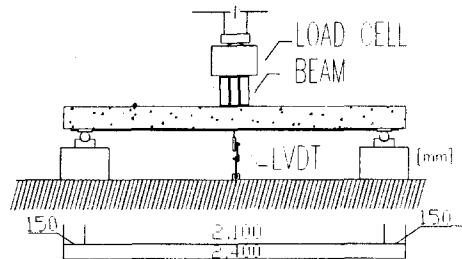


그림1 휨보강 시험체 설치상황

3. 실험 결과 및 분석

3.1 파괴 양상

강판으로 보강된 시험체는 단부에서 보강재와 콘크리트의 접착면이 박리되는 현상을 나타내었고 탄소섬유 슈트와 탄소섬유판으로 보강을 한 경우는 보강재가 콘크리트를 물고 떨어지는 파괴양상을 나타내었다. 이는 강판의 에폭시의 주입 과정에서 내부의 공기가 전부 빠지지 않고 남아서 보강재의 접착강도가 떨어진 것으로 판단된다.

표3 변수별 시험체 파괴양상 분류

시험체명	파괴양상
S05N- I S	1)+3)+5)+7)
S05N- I CS	2)+3)+6)
S05N- I CL	2)+3)+6)
S30L- I S	1)+3)
S30L- I CS	1)+3)
S30L- I CL	2)+3)+4)
S30N- II CL	2)+3)+6)
S30N- III CL	2)+3)

- 1) 보강재의 접착면에서 박리
- 2) 보강재가 콘크리트를 물고 떨어짐
- 3) 인장부위 콘크리트의 파괴
- 4) 압축부위 콘크리트의 파괴
- 5) 콘크리트의 지압파괴
- 6) 보수용 에폭시주입의 불량
- 7) 접착제의 접착불량

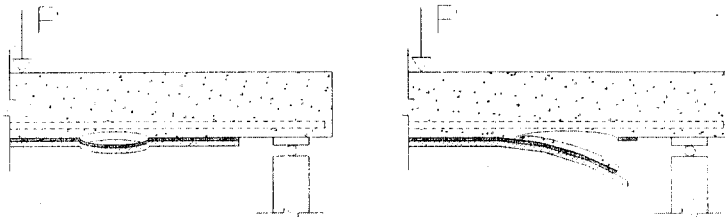


그림2 보강재 박리양상

3.2 실험결과

변수별 시험체의 실험결과 강판, 탄소섬유슈트, 탄소섬유판의 보강효과는 매우 뚜렷하게 나타났다.

표4 실험결과

시험체명	최대하중 (ton)	최대하중시 처짐량 (mm)	무보강 시험체와의 보강효과 비율 (%)	무보강 시험체와의 처짐량차 (ton)
SN	6.2	21.4	100	-
S05N- I CL	13.0	41.7	140.3	14.7
S05N- I CS	11.7	36.3	188.7	14.9
S05N- I S	8.7	36.1	209.7	20.3
S30L- I CL	12.5	48.1	243.5	-0.8
S30L- I CS	12.9	30.4	208.1	9.0
S30L- I S	15.1	20.5	201.6	26.7
S30N- II CL	14.4	34.7		
S30N- III CL	16.6	32.5		

3.2 균열폭에 대한 보강효과의 비교

슬래브시험체의 경우 0.5, 3.0mm의 균열을 부재에 발생시키고 탄소섬유판, 탄소섬유슈트, 강판으로 각각 보강을 한후, 균열폭에 따른 내력의 차이를 비교해 보았다. 실험결과 각 변수에 따른 하중-처짐 곡선은 그림 3과 같이 나타났다. 전체적으로 볼 때 거의 비슷한 내력을 보여주고 있으나 균열이 큰 부재가 대체로 내력이 약간 크게 나타났다. 이는 보수를 함에 있어서 에폭시 주입의 용이함의 유무가 영

향을 미쳤던 것으로 판단된다. 슬래브의 0.5mm의 미세 균열에 대한 에폭시의 주입은 시공상의 어려움과 중앙부에 발생한 미세균열을 발견하기가 어려웠고, 같은압력으로 에폭시를 주입했을 때에 작은폭의 균열에 비해 큰폭의 균열에 에폭시의 주입이 용이 했으므로 내력에 차이를 보였던 것으로 사료된다

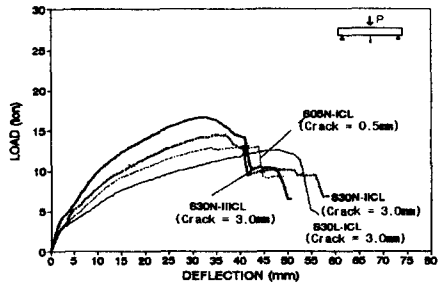


그림 3 (a) 서로 다른 균열폭을 가진 슬래브의 탄소섬유판 보강 시험체의 하중-처짐곡선 비교

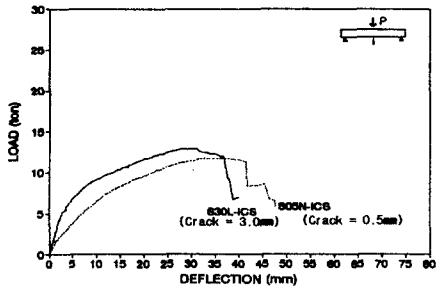


그림 3 (b) 서로다른 균열폭을 가진 슬래브의 탄소섬유쉬트 보강 시험체의 하중-처짐곡선 비교

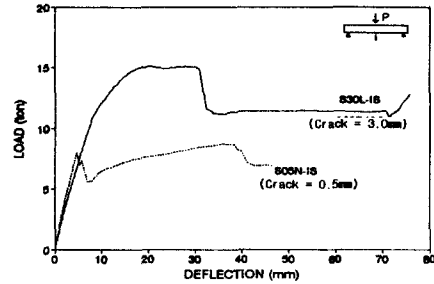


그림 3 (c) 서로 다른 균열폭을 가진 슬래브의 강판 보강 시험체의 하중-처짐곡선 비교

3.3 보강시의 하중재하의 유·무에 대한 보강효과와의 비교

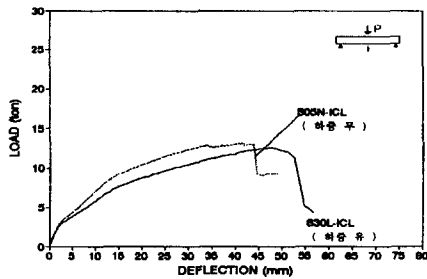


그림 4 (a) 보수시 하중재하 유·무에 따른 탄소섬유판 보강 슬래브 시험체의 하중-처짐곡선 비교

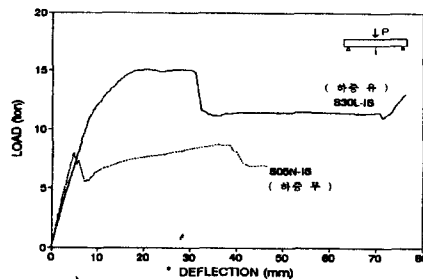


그림 4 (b) 보수시 하중재하 유·무에 따른 강판 보강 슬래브 시험체의 하중-처짐곡선 비교

본 연구에서는 하중이 재하된 상태에서 보수를 시행하고 이때의 부재의 거동과 하중이 제거된 상태에서의 보수를 시행한 시험체의 구조적 거동을 서로 비교하였다. 그림4에서 보는 바와 같이 탄소 섬유

판으로 보강을 한 경우 하중을 제거한 상태에서 보강을 한 시험체가 하중을 제거한 상태에서 보강을 한 시험체보다 내력과 변위량이 작게 나타났다. 그러나 탄소섬유 슈트의 경우는 그러한 경향이 거의 나타나지 않고 있으며 강판보강의 경우는 반대의 경향이 나타났다. 전체적으로 보강의 효과는 확실한 것으로 보이나 보강시의 하중제하 유·무에 대한 내력의 차이는 거의 나타나지 않았다.

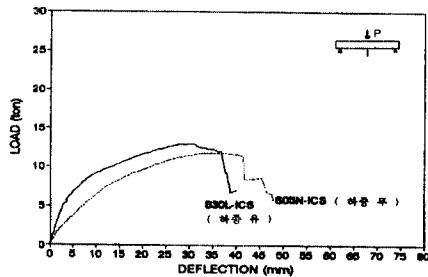


그림 4 (c) 보수시 하중제하 유·무에 따른 탄소섬유시트 보강 스패치 시험체

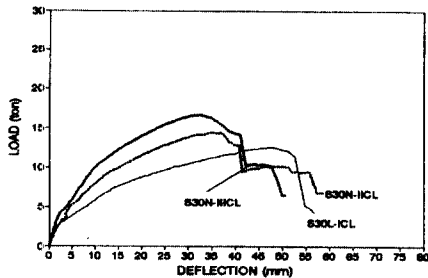


그림 5 탄소섬유판의 정착길이에 따른 보강효과의 비교

5.4 스패치에 대한 보강비율의 영향

내력이 손상된 시험체를 보강하는 데에 있어서 탄소섬유판의 정착길이에 따른 보강효과를 규명하기 위하여 S30L-ICL (스팬=2.2m), S30L-IIICL (스팬=2.1m), S30L-IIICL (스팬=1.8m)의 하중-처짐곡선을 그림6에 나타내고 있다. 슬래브 시험체에서 휨모멘트가 작용하는 지간에 대해 100%보강을 한 경우(S30L-ICL)와 109.5%의 보강을 한 경우(S30L-IIICL)의 휨내력은 거의 차이가 없었다. 128%보강을 한 경우(S30L-IIICL)에도 휨내력이 거의 증가하지 않는 것을 보여주고 있는데 이는 일정 정착길이가 확보되면 보강비율이 높아져도 보강의 효과가 거의 증대하지 않는다는 것을 보여주고 있다.

5.5 보강량에 따른 파단형태 비교

탄소섬유슈트의 경우 1ply, 2ply까지는 중앙부에서 보강재의 파단이 일어나는 형태의 파괴형상을 보여주고 있으나 그 이상의 겹침(3, 4, 5, 6ply)에서는 파단이 일어나지 않고 박리가 일어났다. 탄소섬유판에서도 마찬가지로 0.2mm의 보강재만이 중앙부 파단이 일어났을 뿐 나머지 두께(0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2mm)의 보강재에서는 박리가 일어났다. 이것으로 보아 탄소섬유슈트의 경우에는 3ply, 탄소섬유판의 경우 0.4mm보다 두꺼우면 접착부에서 박리가 되므로 보강재의 물성을 제대로 발휘하지 못하여 그이상의 겹침이나 두께는 불필요한 것으로 판단되나 이는 에폭시의 물성에 관계되므로 이에 대하여는 좀더 깊은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

5.6 보강재의 종류에 따른 영향

보강재의 종류에 따른 부재의 하중-처짐곡선은 Fig. 8에서 보는 바와 같이 보강재의 종류에 따라서는 두께 0.6mm의 탄소섬유판으로 보강된 시험체가 두께 0.5mm의 균열에서는 두께 4.5mm의 강판보다 1.2배, 3ply의 탄소섬유 슈트보다는 1.22배의 보강내력이 증가됨을 보였다. 또한 강판으로 보강된 시험체는 탄소섬유슈트로 보강된 시험체의 내력과 거의 비슷한 크기를 보여주었고, 특히 전체적으로 강판보강 시험체의 처짐량이 현저하게 작게 나타나 있는데 이는 양쪽 단부의 앵커에 의한 구속력에 기인한 것으로 보인다. 같은 폭의 균열을 발생시킨 시험체에 서로 다른 종류의 보강재를 부착시킨 경우 내력에는 큰차이를 보여주고 있지 않다. 그러나 강판으로 보강시킨 시험체 S05N-S, S50N-S는 하중초기 단계에서 에폭시의 부착성능이 충분치 않아 강판이 시험체의 콘크리트면에서 쉽게 박리되어 이후 탄소섬유슈트나 탄소섬유판으로 보강시킨 시험체보다 강도가 저하되어 에너지 흡수 능력이 현저히 감소되었다. 탄소섬유슈트와 탄소섬유판은 비슷한 거동을 보이거나 탄소섬유판이 좀더 긴 연구구간을 보이고 있다. 탄소섬유슈트와 탄소섬유판의 물성은 비슷하기 때문에 재료적인 차이보다는 접착제의 성능에서 차이를 보이고 있는 것으로 판단된다. 또 시공상의 에폭시주입과 보강재의 부착방법에 따라서는 부착강도 변화에 의한 부재 성능이 크게 좌우되므로 시공에 특별한 주의가 필요하다.

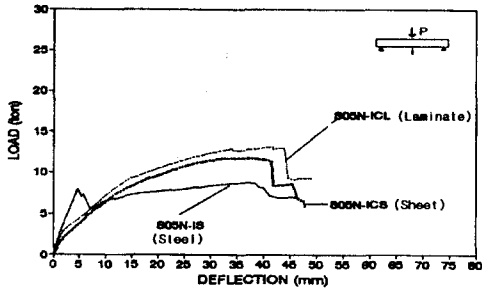


그림 6 (a) 폭 0.5mm를 가진 슬래브의 보강재료에 따른 하중-처짐곡선 비교

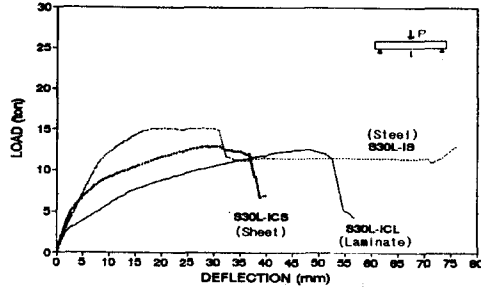


그림 6 (b) 균열폭 3.0mm를 가진 슬래브의 보강재료에 따른 하중-처짐곡선 비교

제 6 장 결 론

- (1) 기존 보강재료인 강재와 신재료인 탄소섬유판 및 탄소섬유쉬트의 보강 효과는 매우 뚜렷하여 무보강인 경우에 비하여 본 실험의 경우 40.3~143.5% 정도의 보강효과를 나타내었다.
- (2) 균열폭의 크기에 따른 보강 효과를 고찰한 결과, 일단 보강된 시험체는 균열폭의 크기나 보강재료에 관계없이 보강효과가 거의 비슷한 것으로 나타났다.
- (3) 보수가 수행될 당시 하중의 유무에 의한 보강효과를 고찰한 결과, 하중이 재하된 상태에서 보강하거나 하중을 제거한 후에 보강을 수행하여도 내력에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- (4) 지간에 대한 보강비율의 영향을 고찰한 결과, 휨모멘트가 작용하는 구간에 대하여 100% 보강하는 경우, 그이상의 길이에 대하여 보강을 하여도 내력은 증가하지 않았다. 즉 탄소섬유쉬트나 탄소섬유판을 이용하여 휨재를 보강할 때 탄소섬유판이나 탄소섬유쉬트의 일정 정착길이가 확보되면 보강 효과는 비슷한 것으로 판단된다.
- (5) 보강 두께에 대한 보강효과를 고찰한 결과, 본 연구에서는 탄소섬유쉬트의 경우 4ply이상되면 보강효과는 보강 두께에 관계 없이 거의 비슷한 것으로 나타났다.
- (6) 보강재의 종류에 따른 보강효과를 고찰한 결과 강판으로 보강시킨 시험체 S05N-S, S50N-S는 하중초기 단계에서 에폭시의 부착성능이 충분치 않아 강판이 시험체의 콘크리트면에서 쉽게 박리되어 이후 탄소섬유쉬트나 탄소섬유판으로 보강시킨 시험체보다 강도가 급격히 저하되어 에너지 흡수 능력이 현저히 감소되었다.

이 연구의 결과에 의하면 신재료인 탄소섬유를 사용하여 휨재를 보강하는 방안은 강재를 사용하여 보강하는 방법보다 여러 가지 측면에서 효과적인 것으로 판단되므로 내구성 및 내화성능에 관한 보다 많은 연구를 통하여 이를 활성화 하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 류해준, "에폭시접착 강판보강 철근콘크리트보의 역학적 거동에 관한 연구", 숭실대학교 석사학위논문 1994. 12
- 2) 한국콘크리트학회, "최신콘크리트공학", 한국콘크리트공학, 1992
- 3) 윤성원, 홍영균, "탄소섬유 Sheet를 이용한 콘크리트 구조물의 보강", 콘크리트학회지
- 4) 신영수, 홍기섭, 최완철, 홍영균, "탄소섬유쉬트로 밀면 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동", 대한건축학회논문집 11권 8호 통권 82호, 1995. 8