

강연선과 폴리머 모르터에 의해 보수·보강된 슬래브의 휨거동 특성

Flexural Behavior of Slab Repaired and Rehabilitated with Strand and Polymer Mortar

황 정 호^{*} 양 동 석^{**} 박 선 규^{***} 엄 준 식^{****}
Hwang, Jeong Ho Yang, Dong suk Park, Sun Kyu Eom, Jun Sik

ABSTRACT

With deterioration of the nation's infrastructure comes the growing, need for effective means of rehabilitating structures. Possibly one for the most challenging tasks is to upgrade the overall capacity of concrete structure. This study focused on the flexural behavior of reinforced concrete slabs strengthened by PS strand and polymer mortar in the tension zone. The properties of slabs are 70×12cm rectangular and over a 220 cm span. Test parameters in this experimental study were placing thickness, chipping, the number of strand, the kind of mortar. Attention is concentrated upon overall bending capacity, deflection, ductility index, failure mode and crack development of repaired and rehabilitated slabs.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 시공상의 이유를 제외하더라도 시간의 경과에 따라 구조물이 노후화되면서 콘크리트의 열화현상으로 균열 및 박리·박락이 발생하고, 이로 인해 철근의 부식이 발생하여 내구성 및 내하력이 저하되는 등의 손상을 입게 된다. 이러한 손상을 입어 성능이 저하된 구조물을 소정의 목적에 맞게 개선하기 위해서 적절한 보수·보강이 필요하게 되었다. 현재 손상된 구조물의 내구성과 내하력을 향상시키기 위해 적용되고 있는 보수·보강 공법에는 강판보강, 탄소섬유보강, 단면증설 등의 공법이 있다.

본 연구에서 수행하려고 하는 PS강연선과 폴리머 모르터를 이용한 슬래브의 휨 실험은 실험변수(보강량, 모르터두께, 치핑여부 등)에 따라 10개의 시험체를 제작하여 슬래브의 보강전·후의 성능개선을 비교·분석하였다.

* 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정

** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사수료

*** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수

**** University of Michigan Research Fellow Ph.D

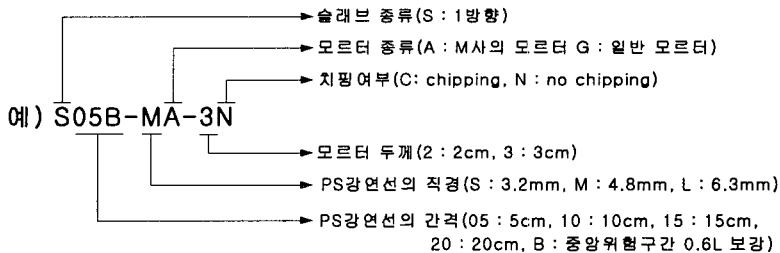
2. 실험

2.1 실험개요

본 실험에서는 PS강연선과 폴리머 모르터를 이용한 슬래브의 보강효과를 평가하기 위한 것으로, 슬래브 실험에서 사용된 실험변수는 보강량(보강간격), 모르터두께, 치핑여부, 보수재료인 모르터의 종류 등에 따라 10개의 슬래브 시험체를 제작하여 균열양상, 항복강도, 극한강도, 파괴양상 등을 측정하고 표준시험체 및 보강시험체와의 비교·분석을 통하여 실험변수에 따른 보강효율을 평가하였다. 슬래브 실험의 자세한 실험변수와 시험체명은 표 1과 같다.

표 1. 슬래브 실험의 실험변수 및 시험체명

시험체명	실험변수					비고
	강연선 간격	강연선 직경	모르터 종류	모르터 두께	치핑여부	
CON 1	-	-	-	-	-	표준시험체
S05-MA-3N	5cm	4.8mm	M사 모르터	3cm	×	중앙구간 0.6L보강
S05B-MA-3N		4.8mm	M사 모르터	3cm	×	
S05-MA-2N		4.8mm	M사 모르터	2cm	×	모르터 두께 최소
S05-SA-3N		3.2mm	M사 모르터	3cm	×	PS강연선의 직경변화
S10-MA-3N	10cm	4.8mm	M사 모르터	3cm	×	모르터 종류변화
S10-MG-3N		4.8mm	일반 모르터	3cm	×	
S10-MA-3C		4.8mm	M사 모르터	3cm	○	치핑여부
S15-MA-3N	15cm	4.8mm	M사 모르터	3cm	×	PS강연선의 직경변화
S20-LA-3N	20cm	6.3mm	M사 모르터	3cm	×	



2.2 사용재료

본 실험에서 사용한 콘크리트 설계강도는 210kgf/cm^2 , 슬럼프는 $15.0 \pm 2.5\text{cm}$ 으로 설계된 레미콘 제품을 사용하였다. 시험체의 배근에 사용된 철근은 설계항복응력 4000kgf/cm^2 인 D10, D13 철근을 사용하였다. PS강연선의 직경은 3.2mm, 4.8mm, 6.3mm로서 세종류를 사용하였다. 보수재료로 사용된 폴리머 모르터는 M사에서 제조한 제품과 일반 폴리머 모르터를 사용하였다. 실험에 사용된 콘크리트의 배합비와 철근 및 PS강연선의 물리적 특성은 표 2, 표 3, 표 4와 같다.

표 2. 콘크리트의 배합비

시멘트(kg/m^3)	물(kg/m^3)	잔골재(kg/m^3)	굵은골재(kg/m^3)	혼화제(kg/m^3)	물-시멘트비(%)	잔골재율(%)
335	183	825	930	1.68	54.7	47.5

표 3. 철근의 물성치

철근의 종류	인장강도(kgf/cm ²)	항복강도(kgf/cm ²)	연신율(%)
SD40 D10	6478	5198	18.1
SD40 D13	6278	5008	19.7

표 4. PS강연선의 물리적 특성

종 류	표준지름 (mm)	공칭단면적 (mm ²)	탄성계수 (×10 ⁶)	하중 (kgf)	인장강도 (kgf/cm ²)	시험규격
φ 3.2	3.2	5.091	11~12	800	15,724	KS B 0802
φ 4.8	4.8	10.83		2,000	18,479	
φ 6.3	6.3	18.60		2,975	15,999	

2.3 시험체 제작

시험체는 표 4와 같이 실험변수를 고려하여 10개의 시험체를 제작하였으며, 시험체의 형상은 그림 1과 같이 70×220×12cm이고, 피복두께는 3cm, 상부철근은 D10를 이용하여 10cm 간격으로 배근하며 하부철근은 D13를 이용하여 같은 간격으로 배근하였다. 또한, 배력철근은 D10를 이용하여 15cm로 배근하여 시험체를 제작하였다.

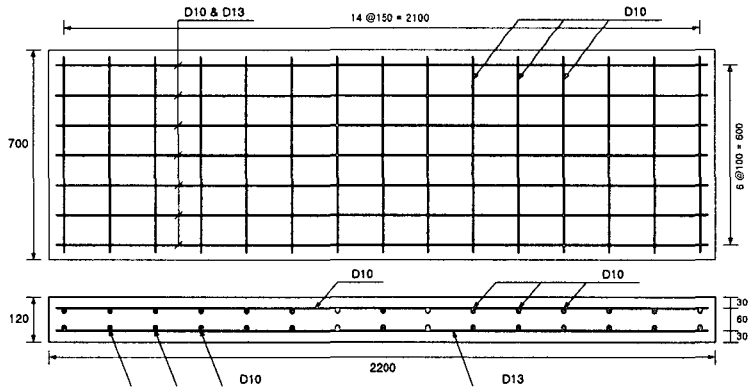


그림 1. 시험체 형상

2.4 재하 및 측정방법

슬래브 실험의 휨 내력평가를 위한 하중재하는 프레임에서 유압잭으로 가력하여 3점 재하하였으며, 재하된 하중량을 측정하기 위하여 유압잭 하부면에 로드셀을 설치하였다. 시험체의 변위를 측정하기 위하여 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 상부 및 하부철근·배력철근의 지간 중앙에 변형계 이지를 2개씩 콘크리트를 타설하기 전에 설치하고, 슬래브 시험체의 중앙 상·하부면에 콘크리트 게이지를 설치하여 변형률을 측정하였다. 그리고, 로드셀과 슬래브 시험체사이에는 집중하중으로 인한 국부파괴를 방지하기 위하여 강판을 설치하여 하중을 가력하였다. 강판의 크기는 200×200×20mm를 사용하였다. 이와 같이 설치한 센서로부터 나오는 데이터는 EDX-1500A(데이터 로거)로 받아들여 컴퓨터

를 이용하여 데이터를 정리하였다.

3. 실험결과

PS강연선과 폴리머 모르터를 이용한 슬래브에 대한 휨 실험결과와 종합적인 양상은 표 5와 같다.

표 5. 슬래브 실험 결과

시험체명	균열하중		수평균열하중 (tonf)	항복하중				극한하중			
	하중 (tonf)	비율		하중 (tonf)	비율	처짐 (mm)	비율	하중 (tonf)	비율	처짐 (mm)	비율
CON 1	2.95	1.00	-	6.00	1.00	16.40	1.00	6.95	1.00	22.80	1.00
S05-MA-3N	4.80	1.63	7.15	9.50	1.58	15.30	0.93	10.60	1.53	22.80	1.00
S05-MA-2N	4.90	1.66	6.85	9.10	1.52	15.40	0.94	10.00	1.44	26.50	1.16
S05-SA-3N	4.55	1.54	5.90	8.10	1.35	14.90	0.91	9.10	1.31	21.70	0.95
S05B-MA-3N	4.85	1.64	8.05	8.10	1.35	12.00	0.73	9.55	1.37	25.10	1.10
S10-MA-3N	3.65	1.24	6.45	8.25	1.38	15.00	0.91	9.45	1.36	23.14	1.01
S10-MA-3C	3.85	1.31	극한하중이후	10.00	1.67	15.20	0.93	10.70	1.54	27.00	1.18
S10-MG-3N	3.20	1.08	3.60	8.02	1.34	17.10	1.04	9.15	1.32	26.02	1.14
S15-MA-3N	3.45	1.17	5.56	8.00	1.33	14.90	0.91	8.70	1.25	21.30	0.93
S20-LA-3N	3.95	1.34	7.02	9.10	1.52	16.50	1.01	9.40	1.35	19.10	0.84

표 6에서 보는 바와 같이 슬래브의 균열하중에서 보강간격이 5cm인 시험체는 표준시험체보다 약 54~66%정도의 하중이 증가되었고, 폴리머 모르터를 이용하여 보수하고 PS 강연선의 보강간격이 10cm이상으로 제작된 보강시험체의 경우에는 약 20~34%정도의 증가효과를 나타내었다. 또한, 보수재료와 콘크리트의 계면에서 발생하는 수평균열하중은 치평을 하고 타설된 시험체가 가장 크게 나타났고, 일반 모르터를 사용한 보강시험체에서는 부착강도의 저하로 인하여 다른 보강시험체에 비해서 3.60tonf으로 상당히 작게 측정이 되었다. 항복하중 및 극한하중에서는 표준시험체에 비해서 보강시험체가 약 25~67%의 증가현상이 나타나 본 실험에서 사용된 PS강연선과 폴리머 모르터를 이용한 콘크리트 구조물 보수·보강공법의 보강 및 보수효과는 상당히 좋은 것으로 사료된다.

3.1 하중-처짐 관계

그림 2와3은 슬래브 실험에 대한 보강간격 및 폴리머 모르터 타설 두께, 치핑여부에 따라 하중과 처짐의 그래프를 나타낸 것이다.

그림 2는 보강간격이 5cm인 경우의 하중과 처짐의 그래프로써, PS강연선에 의해 긴장력을 도입함으로써 표준시험체보다 강성이 증대되고 균열하중이 약 50%이상 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 항복하중과 극한하중은 보강시험체가 표준시험체보다 약 30~60%정도 더 높게 측정되어 보강효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 처짐면에서도 보강시험체가 표준시험체의 약 90%정도까지 측정되어 연성면에서 다른 보강공법보다 뛰어난 것으로 사료된다.

그림3은 보강간격이 10cm, 15cm, 20cm인 경우로, 보강간격이 10cm인 경우 보강간격이 5cm인 경우와 같이 PS강연선에 의해 긴장력을 도입함으로써 강성이 증대되었고 항복하중과 극한하중은 보강시험체가 표준시험체보다 약 30%이상 높게 측정되었다. 또한, 치핑하여 보강된 시험체의 경우(S10-MA

-3C)에는 다른 보강시험체 보다 항복하중과 극한하중이 더 높게 측정되었고 보수재료와 콘크리트의 계면사이에서 발생하는 수평균열하중은 극한하중 이후에 발생되어 보수재료의 부착력이 뛰어난 것으로 사료된다. 보강간격이 15cm 및 20cm로 보강된 경우, PS강연선의 직경을 증가시킨 보강시험체(S20-LA-3N)는 항복하중이 표준시험체보다 약 52%정도 높게 나타났다. 최종 처짐을 비교하면, 표준시험체는 75mm, 보강된 두 시험체는 약 70mm로서 보강된 시험체도 표준시험체와 거의 비슷한 연성을 가지고 있는 것으로 사료된다.

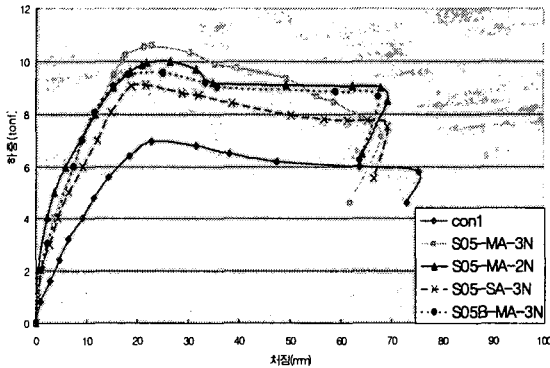


그림 2. 하중-처짐 그래프(보강간격 5cm)

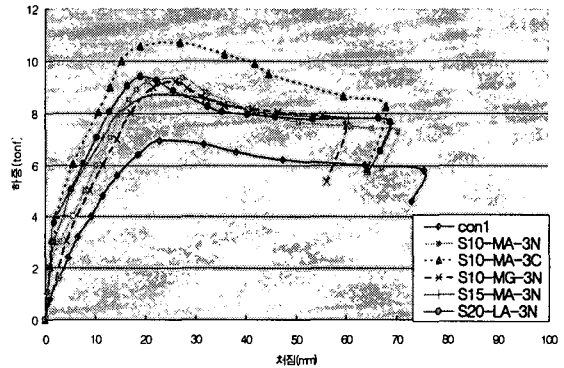


그림 3. 하중-처짐 그래프(보강간격 10cm, 15cm, 20cm)

3.2 사용성 평가

보수·보강공법을 현장에 적용하기 위해서는 안전성뿐만 아니라 사용성면에서도 충분히 만족되어야 한다. 사용성을 평가하기 위해서는 여러 가지가 있지만, 그 중 처짐을 통하여 사용성을 평가하였다. 사용하중(표준시험체 항복하중의 60%)에 대한 보강시험체의 처짐비로서 나타내면 표 7과 같다.

표 6. 사용성평가 결과

시험체명	하중 (tonf)	처짐 (mm)	비율
CON 1	3.60	8.11	1.00
S05-MA-3N		3.50	0.43
S05-MA-2N		2.20	0.27
S05-SA-3N		4.35	0.54
S05B-MA-3N		3.60	0.44
S10-MA-3N		4.50	0.55
S10-MA-3C		1.86	0.23
S10-MG-3N		4.76	0.59
S15-MA-3N		3.35	0.41
S20-LA-3N		1.77	0.22

표 6은 사용하중(3.6tonf)에 대한 시험체의 처짐비로서, 표준시험체(CON1)는 8.11mm의 처짐이 발생되었지만, 다른 보강시험체(9개)는 1.77mm~4.50mm까지 처짐이 발생되어 표준시험체보다 약 40%이상의 처짐이 감소되어 PS강연선과 폴리머 모르타르의 콘크리트 구조물 보수·보강공법은 사용성면에서

좋은 것으로 판단된다. 이것은 이형 와이어로프 PS강연선을 이용하여 긴장력을 도입하므로써 강성이 증대되고, 긴장력으로 인한 솟음량이 발생되었기 때문에 처짐이 감소된 것으로 사료된다.

4. 결론

PS강연선과 폴리머 모르터를 이용한 슬래브에 대한 휨 실험결과에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) PS강연선의 보강간격이 감소할수록(보강량이 증가할수록) 균열하중은 17%이상, 항복하중은 33% 이상, 극한하중은 25%이상 하중이 증가되어 보강효과면에서 좋은 것으로 판단된다.
- 2) 본 실험에서 사용한 M사의 폴리머 모르터와 기존에 사용되고 있는 일반 폴리머 모르터에 대하여 보수효과를 비교해볼 때, 균열하중면에서 일반 폴리머 모르터 시험체보다 약 16%정도 증가되었고, 수평균열하중에서는 M사의 폴리머 모르터로 보수된 시험체는 약 6.45tonf, 일반 폴리머 모르터로 타설된 시험체는 약 3.60tonf으로 상당한 차이를 보였다. 이것은 본 실험에 사용된 보수재료가 일반 폴리머 모르터보다 균열에 대한 저항성 및 부착강도에서 뛰어난 것으로 판단된다.
- 3) 사용하중에 대하여 보강시험체의 처짐이 표준시험체보다 약 40%이상 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 PS강연선을 이용하여 긴장력을 도입하므로써 강성이 증대되고, 긴장력으로 인한 솟음량이 발생되었기 때문에 처짐이 감소된 것으로 사용성면에서도 우수한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박호완, 박기영, 권혁문, "탄소섬유시트에 의한 슬래브 보강에 관한 실험적 연구", Journal of the Institute of Industrial Technology, Vol. 28. , pp. 1~10, June 2000.
2. 박홍용, 문정규, "강섬유보강 철근콘크리트 일방향 슬래브의 휨거동에 관한 실험 연구", Journal of the Research Institute of Industrial Technology, Vol. 20. , pp. 36~41, 2001.
3. 양동석, "시멘트계열 보수재료로 보수·보강한 철근콘크리트 보의 휨 거동 특성", 성균관대학교
4. 양동석, 박선규, 이용학, "강연선 및 탄소섬유쉬트로 보강된 철근 콘크리트 보의 휨거동 특성", 한국 콘크리트학회 논문집, 제 14권 제 2호, pp. 216-222
5. 홍규창, 박홍용, "AFRP로 보강된 철근콘크리트 슬래브의 휨거동에 관한 실험 연구", Journal of the Research Institute of Industrial Technology, Vol. 19. , pp. 207~212, 2000.
6. Alfarabi Sharif, A., Al-Sulaimani G. J., and Basunbul, I. A. (1994), "Strengthening of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams using FRP Plates", ACI Structural Journal, March-April, pp. 160 - 168.
7. Saadatmanesh, H., and Ehsani, M. R. (1990), "RC Beams Strengthened with GFRP Plates", I : Experimental Study, Journal of Structrual Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 11, pp. 3417 - 3433.