

GFRP-데크플레이트로 보강한 합성 슬래브의 휨성능 평가에 관한 실험적 연구

최봉섭^{1*}

Experimental Study on Flexural Performance of Composite Slabs Reinforced with GFRP-Deckplate

Bong-Seob Choi^{1*}

요 약 본 논문은 GFRP-데크와 콘크리트를 합성한 1방향 슬래브 시스템을 제안하고자 기존의 철근트러스-데크 합성슬래브와의 비교실험을 통하여 휨성능에 대한 구조실험을 수행하였다. 실험결과 휨성능은 제안된 GFRP 합성슬래브의 시험체들이 비교시험체들 보다 우수하게 나타나, 재료의 적절한 품질관리가 이루어진다면 GFRP가 갖고 있는 내부식성의 장점을 살릴 수 있는 배기가스나 염분에 많이 노출된 건축물에 매우 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract In this study, the flexural experiment was conducted to propose the one-way composite slab system composed of concrete and GFRP-Deckplate by comparing with the composite deck slab system with bar-mesh. As a result of experiment, the specimens of the proposed GFRP-Deck composite slab were better than the specimens for comparison in the flexural performance. It is effective for the building structures exposed to air pollution or salt.

Key Words : GFRP, Composite deck slab, Stiffener, Building structures, Flexural performance

1. 서론

최근 도심지의 건축물은 지가상승과 용지부족으로 인하여 더욱 고층화의 추세에 있으며 고층 건물의 구조 시스템으로는 시공성과 내진성이 우수한 철골 구조 및 철골철근 콘크리트구조가 일반적인 구조형식으로 채택되고 있다[1]. 이러한 고층건물의 바닥슬래브를 시공하기 위하여 이전의 재래식 공법에서는 거푸집과 받침기둥(동바리)의 사용이 필수적이었다. 따라서 슬래브공사에서는 거푸집작업 공정에서 많은 자재와 인력이 소모되고 제한된 전용횟수를 다한 거푸집 자재의 폐기에도 별도의 비용이 소요되는 등 경제적 측면에서도 불리한 점이 많았으며, 친환경적인 건설을 추구하는 국제적인 흐름에도 불리하여 선진 외국을 중심으로 다양한 합성슬래브의 신기술과 시공방법들이 개발되고 있는 추세이다.

국내에서도 이러한 흐름에 맞추어, 최근에 구조용 데

크플레이트 및 철선트러스-데크 합성슬래브 시스템들이 활발히 적용되고 있다. 이러한 공법들은 데크플레이트 자체가 거푸집 역할뿐만 아니라 콘크리트의 인장보강재의 역할을 동시에 부담하게 함으로서 노무비의 절약과 공기 단축으로 공사비를 줄일 수 있기 때문이다[2]. 그러나 강판과 철선의 경우 지하주차장 등과 같이 배기가스나 그 밖의 환경노출 정도에 따라 부식에 대해 많은 문제들을 피할 수 없고, 시공 시 무거운 자중으로 인한 운반과 양중의 어려움을 갖는다[3]. 따라서 이러한 문제들을 최소화하기 위한 유지관리 및 보수비용이 적지 않게 소요되고 있고, 더욱이 최근에는 강재의 단가가 2배 가까이 급등하고 있고 앞으로도 계속 진행될 추세라서 건설업계에서는 이중의 어려움에 부딪히고 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 철선트러스-데크를 이용한 합성슬래브를 대체할 수 있는 시스템을 제안하고자 GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer)를 이용한 데크플

이 논문은 중기청 산학공동기술개발사업으로 수행된 연구 결과의 일부임.

¹청운대학교 건축공학과

*교신저자(bschoi@chungwoon.ac.kr)

레이트와 콘크리트를 합성한 1방향 슬래브 시스템을 제안하고 휨내력을 비교하고자 한다. 이를 위해 콘크리트와 합성된 GFRP-데크플레이트 합성슬래브의 경우는 이질재료들의 합성으로 바닥판과 콘크리트의 부착 정도에 따라 휨내력이 달라질 수 있기 때문에 정모멘트 실험을 하며, 단부에서의 접합은 접합부 배근 상세에 따른 단부 고정도의 파악이 필요하기 때문에 부모멘트 실험을 수행한다.

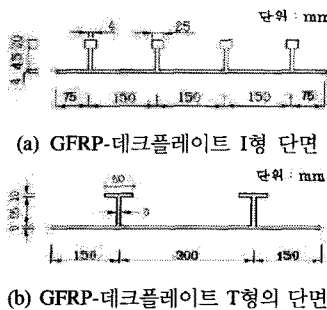
2. 실험

2.1 실험계획 및 제작

본 실험에서는 제안된 1방향 GFRP-데크플레이트 합성 슬래브의 균열특성과 최종파괴 모드, 휨강도 및 연성능력 등의 역학적 특성을 파악하기 위하여 스티프너 형태에 따른 비교뿐만 아니라 국내에서 생산되는 철선트러스-데크(SDI-75)[4]를 사용한 합성슬래브를 비교시험체로 제작하여 구조성능의 차이점을 비교하고자 하였다.

그림 1에서는 실험에 사용한 GFRP-데크플레이트의 단면들과 철근트러스-데크의 단면을 보여주고 있다. 제안된 시스템은 GFRP 플레이트 위에 인장재의 역할로서 휨철근 대신에 최적 형태의 GFRP 스티프너(Stiffener)를 보강하고 또한 콘크리트와 일체거동을 증진시키기 위해 전단 저항에 가장 효율적인 리브(Rib) 형태로 구성된다.

본 데크플레이트는 진공성형(Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)법[5]을 이용하여 G사에 의뢰해 제작되었다. 또한 콘크리트의 두께는 125mm로 하고 상부주근과 배력근은 D10@200으로 계획하였다. 그리고 GFRP 바닥판과 콘크리트와의 전단슬립 정도를 파악하기 위해 조골재뿌리기, 철근배근 그리고 볼트부착 등의 변수를 주어 정모멘트 시험체와 부모멘트 시험체를 각각 8개씩 총 16개의 시험체를 계획하였다. 이에 대한 상세 내용은 표 1에서 정리 하였다.

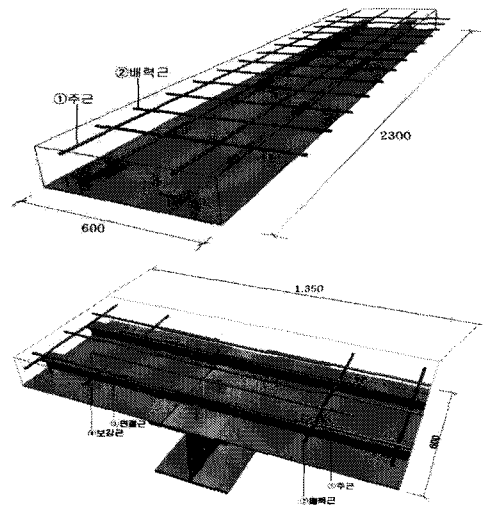


[그림 1] GFRP-데크플레이트 I형과 T형의 단면

2.2 사용재료

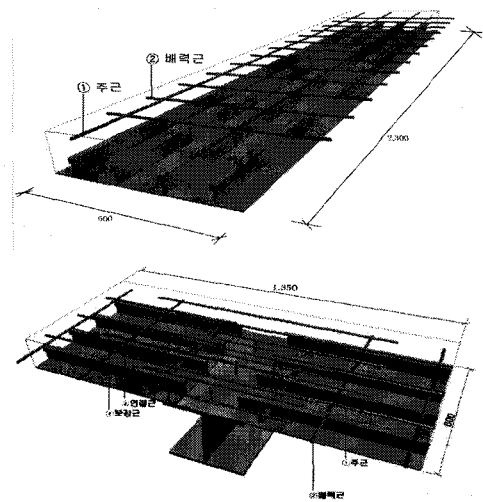
2.2.1 콘크리트

본 실험에서 사용된 콘크리트의 배합강도는 표 2에서 보는바와 같이 24MPa로서 레미콘으로 타설하였고 28일 자연양생 하였다. KSF2403에 따라 직경 100mm, 높이 200mm인 원주형 공시체로 9개를 제작하여 KSF2405의 시험방법에 따라 압축강도를 측정 하였다. 측정결과 공시체의 평균 압축강도는 28.2MPa 이었다.



단위 : mm

[그림 2] T형의 스티프너를 갖는 정·부모멘트 시험체 형상 및 치수



단위 : mm

[그림 3] I형의 스티프너를 갖는 정·부모멘트 시험체 및 치수

[표 1] 시험체 계획 및 변수

시험 체명		지지조건	스티프너 형태	스티프너 갯수	연속경간 이음방법	전단슬립 제어방법
정모멘트	HPS3LN	단스팬	L	3	-	NA
	FPS2TN		T	2	-	NA
	FPS2TA		T	2	-	조골재 뿌리기
	FPS2TR		T	2	-	철근배근(횡방향)
	FPS4IN		I	4	-	NA
	FPS4IA		I	4	-	조골재 뿌리기
	FPS4IB		I	4	-	볼트부착
	FPS2TNR		T	2	-	철근배근(종방향)
부모멘트	HPC3LSJN	연속스팬 (2경간)	L	3	철근이음	NA
	FPC2TFJN		T	2	FRP이음	NA
	FPC2TFJA		T	2	FRP이음	조골재 뿌리기
	FPC2TFJR		T	2	FRP이음	철근배근(횡방향)
	FPC4ISJN		I	4	철근이음	NA
	FPC4ISJA		I	4	철근이음	조골재 뿌리기
	FPC4ISJB		I	4	철근이음	볼트부착
	FPC2TFJNR		T	2	FRP이음	철근배근(종방향)

※ 시험체명 설명

(Identification Code) : ABXYZDDE

- A= F: FRP 데크플레이트, H: 비교시험체-업체에서 생산되는 철산-트러스 데크
- B= P: 구조시험
- X= S: 단스팬, C: 연속스팬(2경간)
- Y= 스티프너 개수
- Z= T: T형 FRP-스티프너, I: I형 FRP-스티프너
- L: 래티스근
- DD= 연속경간 이음방법 (구조시험 정모멘트 시험체에서는 미적용)
- SJ: 철근이음, FJ: FRP 이음
- E= 전단슬립 제어방법(시공하중시험 시험체에서는 미적용)
- A: 조골재 뿌리기, R: 횡철근 배근, B: 볼트 부착
- NR: 종철근 배근, N: 미적용

[표 2] 콘크리트 배합

배합 강도 (MPa)	W/C (%)	단위 수량					슬럼프 (mm)	압축 강도 (MPa)
		물	시멘트	잔골재	굵은 골재	혼화제		
24	48.2	1.82	3.78	8.28	9.43	0.02	150	28.2

[표 3] 강재의 실험결과

종류	구경 (MPa)	구경 (MPa)	경 (×)	경 (× MPa)
D8	432	576	2200	1.96
D10	413	615	2200	1.88
D25	410	609	2206	1.86
∅5	509	563	-	-
아연도강판	560	570	-	-

2.2.2 강재

본 실험에서 사용된 강재들은 래티스 철선(∅5), 철근 (D8, D10, D25) 그리고 아연도 강판(t=0.5mm)이 사용되었다. KSB0802에 따라 실험 하였으며 실험결과는 표 3 과 같다.

2.3 실험방법

표 1에서 계획된 시험체들은 휨성능을 파악하기 위해서 최대용량이 5000kN인 만능시험기(UTM)에 500kN 용량의 로드셀을 연결하여 가력되었고, 중앙부의 변위와 GERP와 콘크리트의 전단슬립 정도를 측정하기 위하여 변위측정기(LVDT)를 각각 시험체의 중앙부와 단부의 GERP 단면에 설치하여 변위를 측정하였다. 정모멘트 시험체들의 경우는 중앙부의 정모멘트를 측정하기 위하여 그림 4와 같이 설치하여 3점 가력하였으며, 또한 연속단부의 고정도를 측정하기 위한 부모멘트 시험체들은 단부

의 부모멘트를 측정하기 위해서 변곡점을 지지점으로, 실제 중앙부 지지점은 가력점으로 가정하여 그림 5와 같이 시험체를 뒤집어 설치하고 3점 가력하였다.

3. 실험결과 및 비교·분석

3.1 균열발생 및 파괴거동

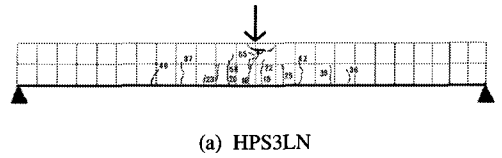
본 실험에서는 일반적으로 정·부모멘트 시험체 모두 가해지는 하중이 균열하중을 넘어서면서 시험체 중앙부 인장영역에서 수직의 휨균열이 발생하기 시작하였고, 그 후 균열 분포는 더욱 확대되면서 변위는 크게 증가하는 양상을 보여주었다. 그림 6과 7은 시험체들의 일반적인 휨거동과 파괴형태를 보여주기 위하여 전단슬립 제어를 위한 보강이 고려되지 않은 시험체들을 대표적으로 보여 주고 있다.



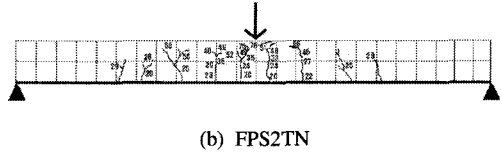
[그림 4] 정모멘트 시험체의 설치 상황



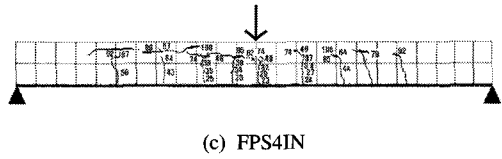
[그림 5] 부모멘트 시험체의 설치 상황



(a) HPS3LN

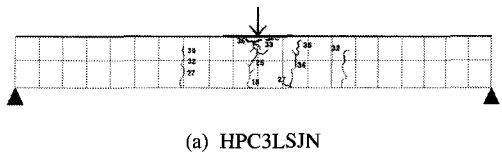


(b) FPS2TN

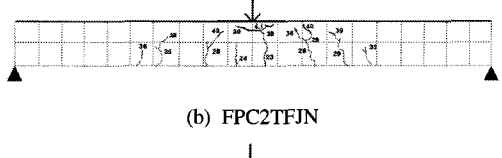


(c) FPS4IN

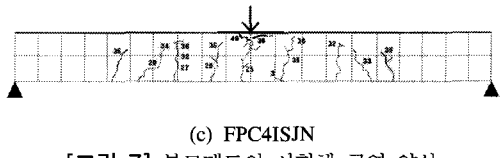
[그림 6] 정모멘트의 시험체 균열 양상



(a) HPC3LSJN



(b) FPC2TFJN



(c) FPC4ISJN

[그림 7] 부모멘트의 시험체 균열 양상

합성슬래브의 휨성능을 파악하기 위하여 제작된 정모멘트 시험체들의 경우, 파괴 형태는 예상대로 휨파괴 양상을 보여주었고 주요 균열들은 일정한 간격을 두고 나타났으며 초기균열은 15~30kN의 하중 범위에서 발생하였다. 일반적으로 휨균열은 잔균열 형태로 나타나지 않았는데 이는 콘크리트 타설과정에서 보다 밀실하게 채워지지 못한데 따른 결과로 판단된다. 그러나 같은 여건에서 시험체들의 균열분포를 비교한다면 FPS4I 계열의 시험체, FPS2T 계열의 시험체, 비교시험체인 HPS3LN 순으로 휨균열이 잘 분산된 것을 보여주고 있다. 따라서 GFRP-데크플레이트를 이용한 합성슬래브의 경우가 비교시험체 보다는 콘크리트와 GFRP-데크플레이트 사이에서 발생하는 마찰력이 보다 균등히 전달되는 것으로 판단된다. 합성슬래브 단부의 접합 일체성을 알아보기 위한 목적

으로 구조실험을 한 부모멘트 시험체들의 경우 시험체들의 파괴형태는 정모멘트 시험체들과 유사하게 휨파괴 양상으로 나타났으며 대부분의 시험체에서 중앙부를 중심으로 초기균열은 15~25kN의 하중 범위에서 발생하였다. 그림 7에서 나타난 바와 같이 FPC4I 계열의 시험체들이 다른 계열의 시험체들보다 균열의 분포가 보다 잘 분산된 것으로 보여주고 있어 연성능력이 우수한 것으로 판단된다.

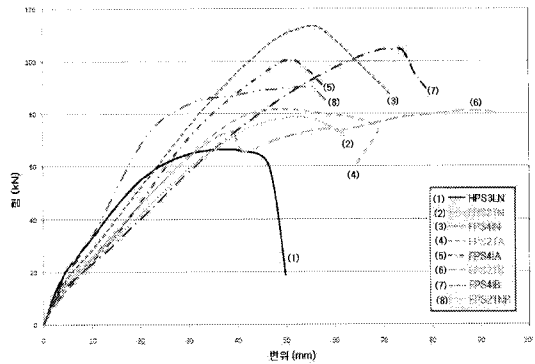
3.2 하중-변위 곡선 비교

휨성능 실험의 결과로서 그림 8에서 보여주는 바와 같이 정모멘트 시험체들의 경우 휨내력은 GFRP 합성슬래브의 시험체들이 비교시험체 (1) 보다는 대략 1.2~1.7배 정도 높게 나왔으며, 부모멘트 시험체들의 경우도 그림 9에서 보여주는 바와 같이 비교시험체(1) 보다는 대략 1.1~1.4배 정도 좋은 결과를 보여주었다. 그리고 연성능력도 비교시험체들 보다 대체적으로 우수하게 나타났으나 시험체 (2),(4),(6)들의 경우는 시험체 제작 시 불균질한 콘크리트 타설로 GFRP와 콘크리트와의 충분한 부착력을 갖지 못하여 연성능력이 비교시험체 (1) 보다 낮게 나왔으나 앞으로 보다 세심한 시공관리가 이루어진다면 개발된 GFRP-데크플레이트 합성슬래브는 기존의 합성슬래브 보다 우수한 구조성능을 가질 것으로 판단된다.

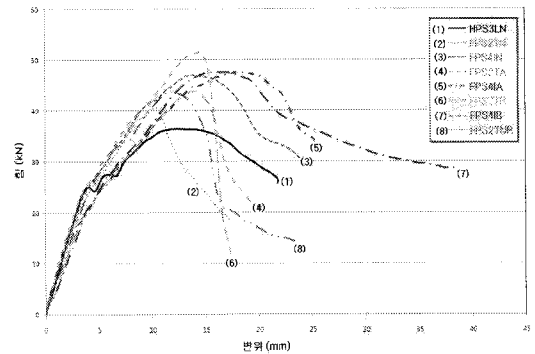
또한 정모멘트 시험체들의 경우, GFRP 데크플레이트 단면의 형태와 전단슬립 제어 방법에 따른 휨성능을 파악하고자 하였다. 휨내력은 4개의 스티프너를 갖는 I형 단면의 시험체군[(3),(5),(7)]이 2개의 스티프너를 갖는 T형 단면의 시험체군 보다는 약간 우수하게 나왔기 때문에 시공상의 문제가 없다면 4개의 스티프너를 갖는 I형 단면의 경우가 유리할 것으로 판단된다.

부모멘트 시험체들의 경우, 2경간 연속슬래브로 가정하여 부모멘트를 받는 연속경간의 일체성 정도를 알아보기 위해 연속경간의 이음방법의 변수를 GFRP와 철근으로 하여 실험을 수행하였다. 그림 9에서 나타난바와 같이 대체적으로 비슷한 휨거동을 보여주고 있으나 이 경우도 4개의 스티프너를 갖는 I형 단면의 시험체들이 휨내력과 연성능력이 우수한 것으로 나타나 일체성에서 유리할 것으로 판단된다.

특히 철근이음을 한 시험체가 보다 우수한 연성능력을 보여주고 있다. 그러나 전단슬립을 제어하기 위해 GFRP 데크플레이트에 조골재뿌리기, 볼트부착 그리고 횡철근 배근을 사용하였는데 조골재와 볼트 부착의 경우가 전단슬립이 상대적으로 작게 나왔으나 휨내력의 크기와는 정확하게 비례하지 않았다. 이는 시험체 제작 시 콘크리트 타설을 보다 균질하게하지 못하였을 수가 있어 휨내력의 변동성이 증가되었기 때문으로 생각된다.



[그림 8] 정모멘트 시험체의 하중-변위 곡선



[그림 9] 부모멘트 시험체의 하중-변위 곡선

4. 결론

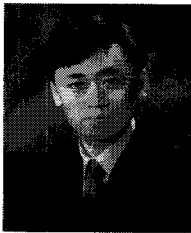
본 논문은 GFRP-데크와 콘크리트를 합성한 1방향 슬래브 시스템을 제안하고자 기존의 철근트러스-데크 합성슬래브와의 비교실험을 통하여 휨성능에 대한 구조실험을 수행하였다. 실험결과 휨내력은 제안된 GFRP 합성슬래브의 시험체들이 비교시험체들 보다는 정모멘트 시험체들의 경우 대략 1.2~1.7배 정도 높게 나왔으며, 부모멘트 시험체들의 경우 대략 1.1~1.4배 정도 좋은 결과를 보여주었다. 특히 4개의 I형 스티프너를 갖는 시험체들의 경우 보다 우수한 휨강도를 갖는 것으로 나타났다. 또한 연성능력도 비교시험체들 보다는 제안된 합성슬래브 시험체들이 비교적 우수하게 나타나 앞으로 체계적인 품질관리가 이루어진다면 GFRP-데크플레이트 합성슬래브는 배기가스나 염분에 많이 노출되는 건축물에 매우 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 조승호, 정란, “데크플레이트 구조성능에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, 제19권, 제12호, pp.7-14, 2003, 12.
- [2] 김성수, “선조립 철선트러스를 이용한 비탈형 합성슬래브의 거동에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제20권, 제4호, pp.17-24, 2004, 4.
- [3] 대한주택공사, 주택도시연구원, “건축구조·토질기초의 A to Z”, 기문당, 2002.
- [4] (주)텍신하우징, “스피드테크 설계편람”, 2007. 11.
- [5] Bank, L. C., "Composites for Construction", Wiley, 2006.

최 봉 섭(Bong-Seob Choi)

[정회원]



- 1983년 2월 : 인천대학교 건축공학과(공학사)
- 1994년 6월 : 뉴욕주립대학교 토목공학과(공학석사)
- 1998년 12월 : 펜실베이니아주립대학교 토목공학과(공학박사)
- 2002년 ~ 현재 : 청운대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

철근콘크리트구조, FRP콘크리트구조 등