

철근 및 GFRP 보강 폴리머 콘크리트 T형 보의 휨 특성

Flexural Properties of Reinforced Steel and GFRP Reinforced Polymer Concrete T-Beams

연 규 석*
Yeon, Kyu Seok

권 택 정**
Kweon, Taek Jeong

정 중 호**
Jeong, jung Ho

김 성 기**
Jin, Xing Qi

ABSTRACT

Recently, the usage of polymer concrete mortar gathering an interest as a new construction material rapidly increases inside and outside of the country because it is an environment-friendly and durable material. However, up to these days, the researches about the polymer composite have not been satisfactorily conducted.

The polymer concrete is superior to the general cement materials in the properties of strength and durability while it is inferior in elastic modulus. Because that the members using the polymer concrete have therefore higher strength and ductility than the members of general cement concrete, an analysis equation of high-strength cement concrete can be referenced but it is not applied for the researches about the polymer concrete members. In this study, the flexural properties of T-shaped beam of the steel- and GFRP-reinforced polymer concrete are analyzed to examine the suggested analysis equation. Results of this experimental researches are to be used as the basic data in a structural design of the polymer concrete.

1. 서론

최근 국내외적으로 건설신소재로 각광받고 있는 폴리머 복합소재는 친환경적이고 뛰어난 내구적 특성으로 인하여 그 사용 및 응용이 급속도로 광범위해지고 있다. 특히 폴리머 콘크리트나 모르타르는 그 성능이 우수하여 각종 구조적 부재에 점차 이용되고 있다.

폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트에 비하여 강도나 내구성이 월등히 우수한 반면 탄성계수는 오히려 작아서 폴리머 콘크리트를 사용한 부재는 일반 시멘트 콘크리트 부재에 비하여 높은 강도와 연성을 나타내게 된다. 이러한 특성으로 폴리머 콘크리트 부재를 연구함에 있어서 고강도 시멘트 콘크리트의 해석식은 참조로 사용할 수는 있지만 적용되지는 않는 실정이다. 이에 본 연구에서는 철근 및 GFRP 보강 폴리머 콘크리트 T형 보의 휨 특성을 분석하여 그 해석제안식의 타당성을 검증하고, 이를 폴리머 콘크리트의 구조적 설계를 위한 기초적 자료로 제공코자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 사용 재료

2.1.1. 결합재

*정회원, 강원대학교 지역기반공학과 교수

**정회원, 강원대학교 지역기반공학과 석사과정

결합재는 MMA개질 불포화 폴리에스터 수지(UP), 충전재는 옥탄산 코발트 8% mineral turpentine 용액(CoOc), 촉매제는 메틸에틸케톤 프록사이드(MEKPO) 55%인 DMP 용액을 사용하였다.

2.1.2. 충전재, 골재 및 보강재

충전재는 입자크기 1~30 μm , 분말도는 2,500~3,000 cm^2/g 의 중질 탄산칼슘(heavy calcium carbonate)을, 잔골재는 5 mm이하의 규사를, 굵은 골재는 최대치수가 13 mm인 편마암 쇄석을 110 \pm 5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24 시간 건조시킨 후 냉각시켜 사용하였고, 보강재로는 FRP 성형품의 두께를 균일하게 할 수 있는 roving cloth 유리섬유를 사용하였다.

2.2 시험체 제작

2.2.1 철근 및 유리섬유보강 폴리머 콘크리트 T형 시험체 제작

본 연구에서는 인장철근량, 유리섬유 보강두께 및 유리섬유 보강 높이를 변수로 하여(표 1) 철근과 섬유시트의 보강효과를 비교 분석하기 위해 철근비(0.15, 0.3, 0.6 pb)를 달리하는 철근만으로 보강된 폴리머 콘크리트 T형보와 철근비(0.6pb)을 고정하고 섬유시트 두께(2, 3, 4 mm)와 높이(0, 2.5, 5.0, 7.5, 10 cm)를 달리하는 12종류의 폴리머 콘크리트 T형보를 제작하였다. 또한 유리섬유 보강층과 T형보의 박리나 탈락파괴를 방지하기 위하여 보의 측면과 밑면을 모두 보강하는 방식을 취하였다.

그림 1 보의 휨 시험 광경

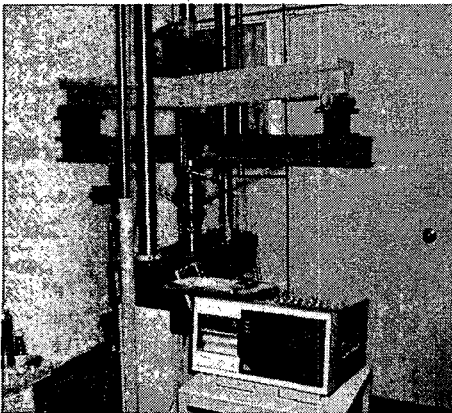


표 1 종류별 폴리머 콘크리트 T형 보 제작

Specimen	Steel ratio	GFRP thickness (mm)	GFRP height (cm)	Mark
TS	0.013	-	-	b=25 cm t= 4 cm h=10 a=10
TM	0.028	-	-	
TL	0.050	-	-	
TS2-5	0.013	2	5	
TM2-5	0.028	2	5	
TL2-5	0.050	2	5	
TM2-5	0.028	2	5	
TM3-5	0.028	3	5	
TM4-5	0.028	4	5	
TM3-0	0.028	3	0	
TM3-2.5	0.028	3	2.5	
TM3-5.0	0.028	3	5.0	
TM3-7.5	0.028	3	7.5	
TM3-10	0.028	3	10.0	

2.2.2 시험방법

폴리머 콘크리트 T형보 휨시험은 그림 1과 같이 3점 가력방식으로 실시하였으며, 휨파괴를 유도하기 위해 전단경간비(a/d)를 4.0으로 고정하였다. 순수휨구간에는 시험체의 길이방향 및 수직방향에 변위계(LVDT)를 설치하여 수평방향 상대변위와 수직방향의 처짐을 측정하였다. 한편 T형보의 압축 및 인장부과 측벽에 스트레인 게이지를 부착하여 하중단계별 변형률을 연속적으로 측정하였고 하중은 변위제어 방식으로 0.6 cm/s의 속도로 일정하게 재하하였다.

3. 결과 및 고찰

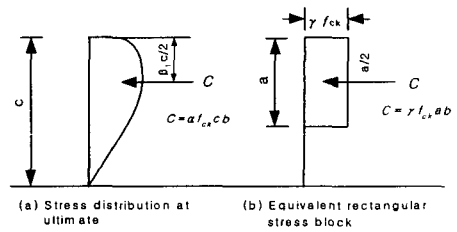
3.1 폴리머 콘크리트 휨 부재의 등가직사각형 응력 블록

T형 보의 휨시험에 앞서 폴리머 콘크리트의 휨 압축하중 하에서의 응력특성을 분석하기 위하여 C형 시험체를 제작하고 휨 압축시험을 통하여 T형 보의 단면해석을 위한 기초 자료인 폴리머 콘크리트의 등가직사각형 응력블록 매개변수를 구하였다.

표 2 응력블록 매개변수의 비교

Description	α	β_1	γ
Cement concrete ($f_{ck} \geq 560 \text{ kgf/cm}^2$)	0.56	0.65	0.86
UP polymer concrete	0.61	0.73	0.84
MMA modified UP polymer concrete	0.62	0.74	0.84

그림 2 등가직사각형 응력블록의 해석



3.2 폴리머 콘크리트 T형보의 휨 시험

시험체의 공칭 휨 강도 추정 시 C형시험체의 휨압축시험을 통하여 산출한 등가직사각형 응력모델을 사용하였으며 철근은 항복시까지의 탄성거동을 하고 항복후에는 연성거동을 하는 것으로, GFRP는 완전탄성체로서 인장을 시작하여 파단에 이르기까지 완전탄성거동을 하는 것으로 간주 하였다. 공칭 휨 모멘트는 강도설계법에 기준하여 산출하였으며 연성지수는 여러 가지 정의가 있으나 본 시험에서는 연성지수를 철근의 항복시점 시 연직처짐에 대한 부재파괴 시 최대변위 비로 정의하였으며 변위계의 측정에 근거하여 연성지수를 산출 하였다. 시험결과 값과 예측값에 의한 극한모멘트와 극한하중 및 연성지수는 표 3과 같다.

표 3 극한모멘트와 극한하중 및 연성지수

Specimens	Ultimate moment (tf · m)		Ultimate load (tf)		Steel ratios (ρ/ρb)	GFRP thickness (mm)	GFRP height (cm)	Ductility index (μ)
	EXP.	PRE.	EXP.	PRE.				
TS	1.00	1.08	2500	2700	0.013	-	-	6.0
TM	1.41	1.49	3530	3720	0.028	-	-	5.1
TL	1.99	2.08	4980	5230	0.05	-	-	4.5
TS2-5	1.39	1.44	3480	3600	0.013	2	5	5.8
TM2-5	2.03	2.10	5070	5250	0.028	2	5	5.0
TL2-5	2.92	3.12	7300	7800	0.050	2	5	4.6
TM2-5	2.03	2.10	5070	5250	0.028	2	5	5.0
TM3-5	2.40	2.50	6010	6260	0.028	3	5	4.4
TM4-5	2.81	2.97	7030	7420	0.028	4	5	4.0
TM3-0	2.24	2.32	5600	5800	0.028	3	0	5.5
TM3-2.5	2.35	2.48	5880	6220	0.028	3	2.5	4.6
TM3-5.0	2.40	2.50	6010	6260	0.028	3	5.0	4.4
TM3-7.5	2.62	2.76	6540	6900	0.028	3	7.5	3.6
TM3-10	2.86	2.92	6860	7200	0.028	3	10.0	3.3

그림 3은 GFRP 보강유무에 따른 폴리머 콘크리트 T형보의 극한모멘트를 철근비에 따라서 나타난 그래프이다. 철근비의 증가에 따라 GFRP의 보강효과에 의한 극한모멘트의 증가폭이 소폭 증가하였음을 알 수 있다. 그림 4, 5는 철근비가 일정할 때 GFRP 보강높이 및 보강두께의 증가에 따른 극한모멘트를 비교한 그래프로서 보강높이 및 두께의 증가에 따른 극한모멘트의 선형적인 증가를 확인할 수 있다. 또한 이론값과 실험 결과는 상당히 잘 부합되며 단면 해석에 사용한 응력블록 매개변수는 충분히 유사 설계에 적용할 수 있음을 알 수 있다.

그림 6~8은 휨 하중에 따른 보의 처짐 값을 나타낸 그래프로서 철근비, GFRP의 두께 및 보강높이에 관계없이 철근이 항복하기까지 전체 하중의 약 70~80 %까지는 약 극한처짐의 20~25%정도로 크게 발생하지 않다가 나머지 75~80%처짐은 철근이 항복하는 시점부터 급격히 진전되는 경향을 나타낸다.

그림 9~11 은 철근비, GFRP의 두께 및 보강높이에 따른 연성지수를 비교하여 나타내는 그래프이다. 철근비, GFRP의 보강두께 및 GFRP 보강높이의 증가에 따라 연성지수는 다소 감소하는 경향을 보이고 있다.

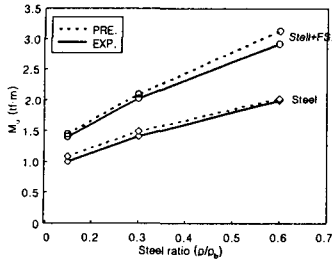


그림 3 철근비에 따른 극한모멘트

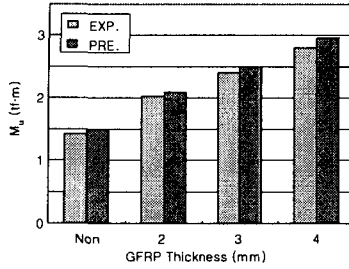


그림 4 GFRP 보강두께에 따른 극한모멘트

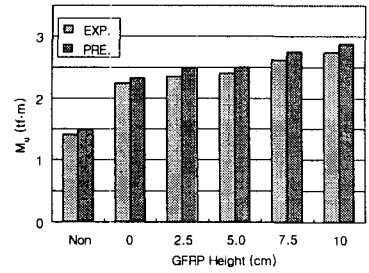


그림 5 GFRP 보강높이에 따른 극한모멘트

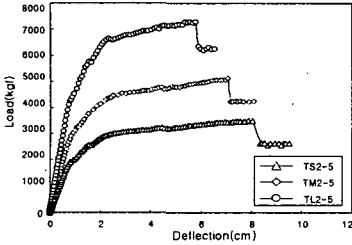


그림 6 철근비에 따른 하중-처짐 곡선

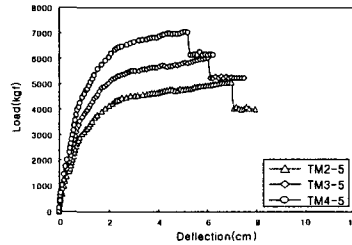


그림 7 GFRP 보강두께에 따른 하중-처짐 곡선

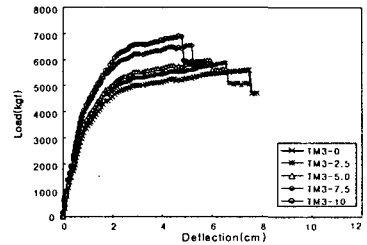


그림 8 GFRP 보강높이에 따른 하중-처짐 곡선

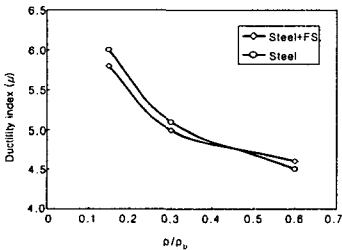


그림 9 철근비에 따른 연성지수

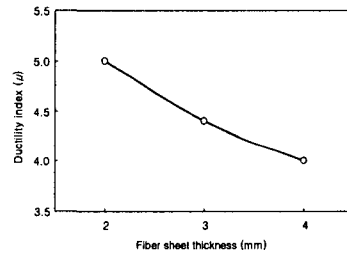


그림 10 GFRP 보강두께에 따른 연성지수

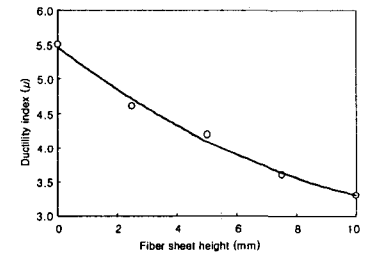


그림 11 GFRP 보강높이에 따른 연성지수

4. 결론

- (1) 철근량이 일정할 때 GFRP 보강높이 및 보강두께가 각각 증가함에 따라 폴리머 콘크리트 T형보의 극한모멘트도 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다.
- (2) 철근량, GFRP 보강두께 및 보강높이에 관계없이 폴리머 콘크리트 T형보의 처짐은 극한하중의 70~80% 정도까지는 극한처짐량의 약 20~25% 정도로 크게 발생하지 않다가 나머지 75~80% 처짐은 철근이 항복하는 시점부터 급격히 진전되는 경향을 보였다.
- (3) 폴리머 콘크리트 T형보의 연성지수는 철근량 0.15~0.6 pb의 범위에서 약 3.3~6.0의 값을 나타내었고 철근량, GFRP 보강두께 및 보강높이의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.
- (4) 철근 및 GFRP 보강 폴리머 콘크리트 T형보의 극한모멘트 실험값과 강도설계법에 의한 예측값은 비교적 잘 부합되어, 유사부재의 구조설계에 적용 가능할 것이다.

참고 문헌

1. 김관호, 연규석, 김남길, “고강도 폴리머 콘크리트 휨부재의 응력블럭”, 한국콘크리트 학회 논문집, 제14권 5호 pp.638-643, 2002.10
2. Ashour, S. A., and Wafa, F. F., “Flexural Behavior of High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beams”, ACI Structural Journal, Vol., 90, No. 3, pp.279-287, 1993