

철근 보강 고강도 폴리머 콘크리트 보의 휨특성

Flexural Performance of Reinforced Polymer Concrete Beams with High Strength

연 규 석(강원대) 김 관 호*(강원대) 김 기 락(강원대)
Yeon, Kyu Seok Kim, Kwan Ho Kim, Ki Rak

Abstract

While a little research has been performed on flexural behavior of reinforced polymer concrete (RPC) beams with the compressive strength lower than 900kg/cm^2 vary little exists in conjunction with the behavior of RPC $1,000\text{kg/cm}^2$ or higher in compressive strength.

In this paper the flexural performance of high strength polymer concrete beams with $1,450\text{kg/cm}^2$ in compressive strength was evaluated. The unsaturated polyester resin was used to make polymer concrete as binder. The beams with stirrup singly/doubly were tested to examine the effect of tensile reinforcement ratio.

As test results, reinforcement ratio increased with the increase moment strength, decreased with ultimate deflection, ductility index.

key word : reinforced polymer concrete beams, reinforcement ratio, moment strength ductility index, flexural behavior

1. 서 론

폴리머 콘크리트는 고강도 일뿐 아니라 기타 역학적 성질이 우수해 국내·외적으로 많은 관심을 끌고 있는 신건설재료이다. 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트와 비교해 불매 결합체의 성질이 근본적으로 다른 만큼 역학적 성질도 큰 차이를 보이고 있는데, 그 중 하나는 고강도이면서, 탄성계수가 낮다는 것이 대표적인 특성이라 할 수 있다. 그러나 폴리머 콘크리트를 구조물에 이용키 위해서는 이에 대한 휨 및 전단거동 특성에 대한 연구가 이루어져야 하며, 이에 대한 설계규준도 마련되어야 한다. 그러나 아직 폴리머 콘크리트의 구조적 거동에 대한 기존연구는 그리 많지 않은 실정이며, 그 적용규준 역시 제정되어 있지 않다. 앞으로 폴리머 콘크리트의 이용을 구조물에 다양하게 이용하기 위해서는 범용화가 가능한 설계규준이 마련되어야 한다.

보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트와 같이 폴리머 콘크리트는 압축강도에 비해 인장강도가 낮은 편이다. 그러므로 보강 철근은 취성적인 파괴를 방지하고 인성과 강도를 증진시키기 위하여 사용된다.

본 연구에서는 주철근비를 달리하는 압축강도 $1,450\text{kg/cm}^2$ 정도를 갖는 폴리머 콘크리트보의 인장측에 보강을 둔 단철근보와 인장측과 압축측에 보강을 둔 복철근보를 제작하고, 모든보에 스트립을 보강하여 휨거동특성을 실험적으로 구명하였다.

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

2. 사용재료

2.1 실험재료

조골재는 최대치수 13mm를 갖는 화강암 쇄석, 세골재로는 규사가 사용되었다. 이들 골재는 사용 전 $100 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조시킨 후 충분히 냉각시켰다. 그리고 유기질인 폴리머 매트릭스와 무기질인 골재와의 결합을 위해 가교제로서 silane을 첨가하였다.

폴리머 콘크리트의 배합비는 Table 1과 같고, 결합재로 사용된 불포화 폴리에스터 수지의 성질은 Table 2와 같다

보강용 인장주철근은 항복점응력이 $4,200\text{kg}/\text{cm}^2$ 로서 지름 13, 16, 19, 22mm인 철근을 인장축에 2개씩 배근하였으며, 복철근보의 압축축에는 지름 13mm를 사용하였다.

Table 1. Formulation of polymer concrete

Binder	Filler	Aggregate		Silane
		Coarse	Fine	
12.0	11.0	27.4	50.8	0.24 (2% of Binder)

(Unit : wt.%)

Table 2. Properties of unsaturated polyester resin used

Specific gravity (25°C)	Viscosity (25°C , mpa · s)	Acid value	Styrene Content (%)
1.13	300	20.0	40.0

3. 실험방법

3.1 시험체 제작

폴리머 콘크리트의 압축강도, 인장강도, 휨강도, 탄성계수 등과 같은 역학적 성질을 구명하기 위하여 $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 크기의 원주형 공시체와 $6 \times 6 \times 24\text{cm}$ 크기의 각주형시험체를 제작하였으며, 휨거동특성을 구명하기 위해 Table 3과 같은 8가지의 시험체를 제작하였다. 시험체는 온도가 $25^\circ\text{C} \pm 3$ 이고, 습도가 $60 \pm 5\%$ 인 항온항습실에서 7일간 양생시킨 후 실험실에서 시험하였다.

3.2 시험방법

원주형 및 각주형 공시체에 대한 역학적 성질시험은 KS 규정 (KS F2480, KS 2482, KS F2483)에 의해 수행하였다. 휨 시험은 Fig. 1에 나타난 바와 같은 장치에 의해 실시되었다. 하중은 용량 100kN인 UTM에 Load cell을 설치하여 $0.6\text{kN}/\text{min}$ 의 속도로 재하하였다. 측정범위가 100mm인 LVDT에 의해 재하단계별 보 중앙부의 처짐을 측정하였으며, 콘크리트용 70mm스트레인 게이지에 의해 보의 압축, 인장축 변형율을, 철근용 5mm 스트레인 게이지에 의해 주철근의 변형율을 측정하였다. 또한 휨시험체의 균열 및 파괴양상을 파악하기 위하여 재하단계별로 균열의 발생 및 진전상황을 조사하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 재료의 역학적 성질

보의 제작에 사용된 폴리머 콘크리트의 역학적 성질에 대한 시험결과는 Table 4와 같고, 응력-변형을 곡선은 Fig. 2와 같다. 시험결과 콘크리트의 압축강도는 1,450kg/cm², 인장강도는 108kg/cm²로 나타나 압축강도/인장강도비가 13.5배로 비교적 높게 나타났으며, 탄성계수는 3.58×10⁵kg/cm²로서 비슷한 압축강도를 갖는 시멘트 콘크리트에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 극한변형율은 시멘트콘크리트는 0.003인데 비해 고강도 폴리머 콘크리트의 경우는 2배정도인 0.006정도로 나타났다.

Table 3. List of test beams

Beam designation	Beam size (b×d, cm)	Rebar ratio		Effective depth (d' cm)
		ρ (As/bd')	ρ' (As'/bd')	
SR13	12×15	0.0179	-	12.35
SR16	12×15	0.0274	-	12.20
SR19	12×15	0.0391	-	12.05
SR22	12×15	0.0532	-	11.90
DR13	12×15	0.0179	0.0179	12.35
DR16	12×15	0.0274	0.0181	12.20
DR19	12×15	0.0391	0.0183	12.05
DR22	12×15	0.0532	0.0185	11.90

※SR: Singly reinforced Beams DR: Doubly reinforced Beams

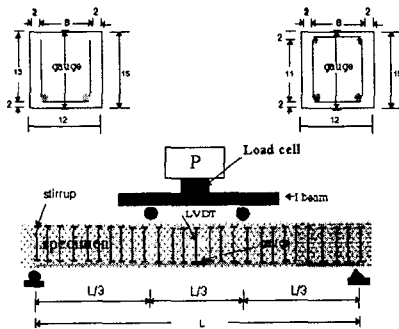


Fig. 1 Details of test beams

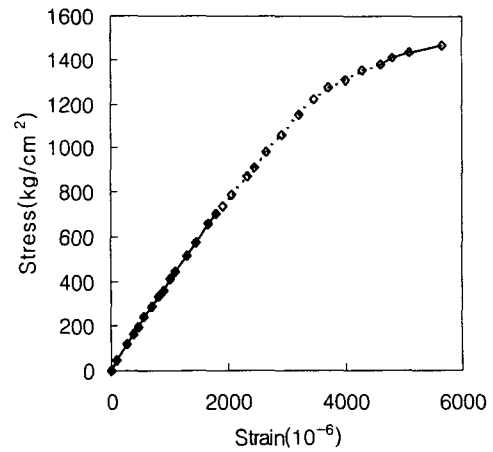


Fig. 2 Stress-strain curve of cylindrical specimen

Table 4. Mechanical properties of high strength polyester polymer concrete

Compressive strength(kg/cm ²)	Splitting tensile strength(kg/cm ²)	Flexural strength(kg/cm ²)	Modulus of elasticity(×10 ⁵ kg/cm ²)
145	108	266	3.59

4. 2 하중-처짐관계

Table 5. Analysis of the load-deflection relationship

Beam designation	Ultimate load(Pu),ton	Ultimate deflection(Δu)	$\Delta u/Pu$, mm/ton
SR 13	3.73	28.1	7.53
SR 16	4.67	25.2	5.39
SR 19	5.88	22.3	3.79
SR 22	7.48	18.1	2.41
DR 13	3.67	36.9	10.05
DR 16	4.99	31.9	6.39
DR 19	6.74	31.4	4.65
DR 22	8.64	24.6	2.84

Fig. 3, 4는 각각 단철근보와 복철근보의 하중과 처짐과의 관계로서 파괴하중에 도달할때까지 보의 중앙부에서 처짐거동을 나타낸 것이다. 하중-처짐곡선에서 단철근, 복철근 모두 비슷한 경향을 나타나고 있는데, 주철근비가 증가할수록 하중이 증가하고, 극한하중에 대한 극한처짐이 작게 나타남을 알 수 있다. 초기의 하중-처짐곡선은 선형적인 비례적으로 증가하다가 하중이 어느정도 증가한 후에는 비선형적인 거동을 보이고 있다. 특히, 단철근보에 비해 복철근보에서도 초기하중의 증가시 매우 작은 처짐을 나타내고 있다. 단철근보는 주철근비가 증가함에 따라 극한하중이 3.73~7.48 ton으로 증가하고 극한처짐은 28.1~18.1mm로 감소하는 경향을 나타냈으며, 복철근보는 극한하중이 3.67~8.64ton으로 증가하고 극한처짐은 36.9~24.6mm로 감소하여 단복철근 모두 극한하중에 의한 극한처짐비는 주철근비가 증가할수록 감소됨을 알 수 있었다.

Table 6은 초기처짐에 대한 극한처짐으로 표시되는 인성지수를 계산한 결과이다. 이 결과에 나타난 바와 같이 복철근보에서 초기처짐은 낮은 강도에서 발생하지만, 극한처짐은 단철근 보에 비해 약 75% 정도 더 크게 증가함을 알 수 있다. 이러한 경향은 인장축의 응력부담을 압축축의 보강으로 인하여 응력부담을 경감시켜 주기 때문이라고 사료된다. 인성지수는 단철근보에 비해 압축축 보강을 함으로서 주철근비가 증가함에 따라 약 34~51% 증가함을 알 수 있다.

Table 6. Computation of the ductility index

Beam discription	Deflection at the end of initial strength (Δp), mm	Ultimate deflection (Δu), mm	Ductility index ($\Delta u/\Delta p$)
SR 13	4.00	28.1	7.02
SR 16	4.20	25.2	6.00
SR 19	5.20	22.3	4.29
SR 22	6.90	18.1	2.62
DR 13	1.80	36.9	20.50
DR 16	2.70	31.9	11.80
DR 19	4.30	31.4	7.30
DR 22	4.80	24.6	5.12

4. 3 모멘트강도-변형을 관계

Fig. 5, 6은 모멘트강도와 콘크리트보의 압축축에서의 변형률관계를 나타낸 것이고, Fig. 7, 8은 모멘트강도와 인장철근의 변형률 관계를 나타낸 것이다. 또한 Table 7은 단철근보와 복철근보의 휨시험결과를 나타낸 것이다. 여기서 일반 시멘트 콘크리트의 극한변형률이 0.003인데 비하여 단철근보에서는 약 2배정도인 0.006

이고, 복철근보에서는 약 0.005인 극한변형율을 나타내고 있다. 그리고 단철근보에서 주철근비가 증가할수록 모멘트강도가 증가하고, 압축측변위는 $5.93 \times 10^{-3} \sim 3.98 \times 10^{-3}$ 로 감소하는 경향을 보이는데 비해, 복철근보에서는 주철근비가 증가할수록 모멘트강도가 증가하나, 압축측변위는 $2.78 \times 10^{-3} \sim 4.68 \times 10^{-3}$ 로 증가하였다. 이러한 복철근보와 단철근보와 차이는 압축측 보강으로 인한 용력부담이 다르게 나타난 결과라고 판단된다.

모멘트강도에 따른 인장철근변형율은 단·복철근 모두 모멘트강도가 증가함에 따라 변형율은 $10.63 \times 10^{-3} \sim 26.3 \times 10^{-3}$, $4.53 \times 10^{-3} \sim 7.01 \times 10^{-3}$ 로 증가하였으며, 철근의 항복점 변형율은 단철근보에서는 철근이 대략 0.0025, 복철근보에서는 0.0010 으로 나타났다.

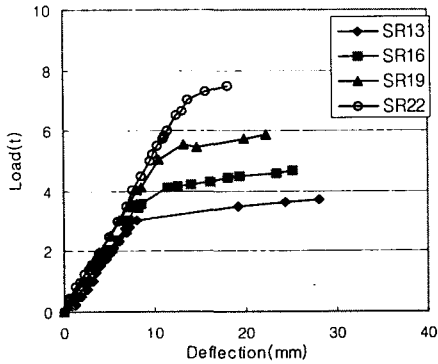


Fig.3 Load-deflection responses for singly reinforced beams

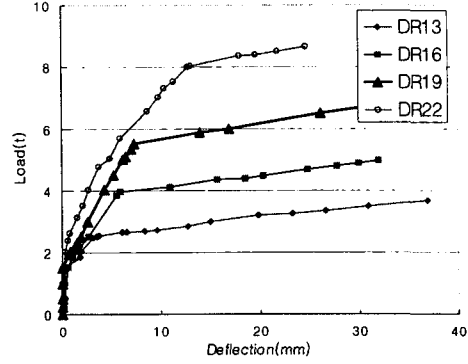


Fig.4 Load-deflection responses for doubly reinforced beams

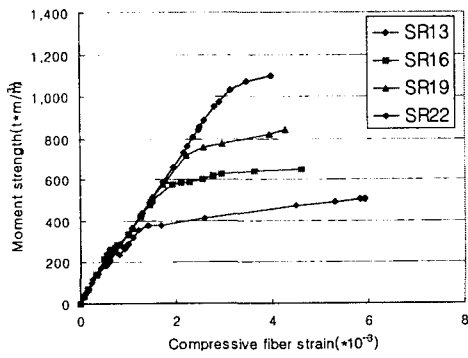


Fig.5 Moment strength-concrete compressive fiber strain for singly reinforced beams

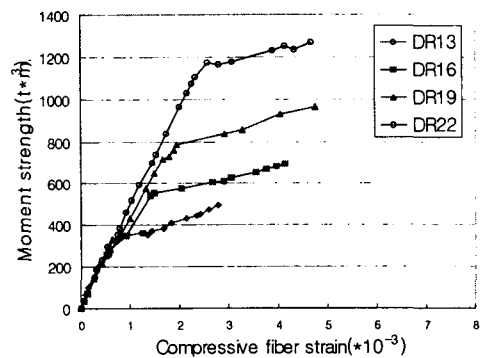


Fig.6 Moment strength-concrete compressive fiber strain for doubly reinforced beams

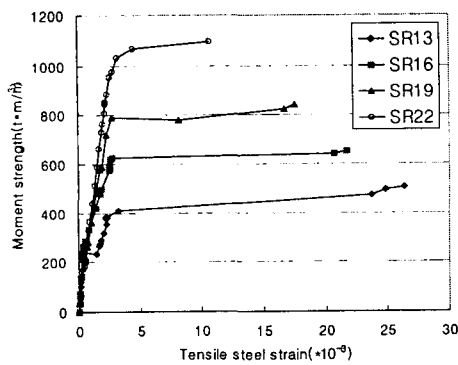


Fig.7 Moment strength-tensile steel strain relationship for singly reinforced beams

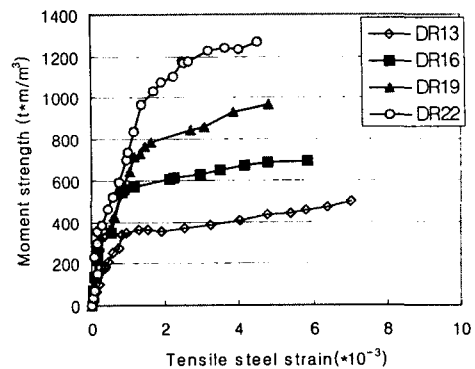


Fig.8 Moment strength-tensile steel strain relationship for doubly reinforced beams

Table 7. Results of strength test

Beam designation	Moment(t×m)		My/Mu	Ultimate moment strength(M_u/bd^2), $t \times m/m^3$	Concrete compressive fiber(ϵ_u) $\times 10^{-3}$	Tensile steel (ϵ_y), $\times 10^3$
	Yield(My)	Ultimate(Mu)				
SR 13	0.60	0.74	0.81	506.56	5.93	26.35
SR 16	0.76	0.93	0.82	650.04	4.60	21.73
SR 19	1.00	1.18	0.84	840.95	4.28	17.53
SR 22	1.28	1.49	0.85	1,098.36	3.98	10.63
DR 13	0.50	0.73	0.68	497.74	2.78	7.01
DR 16	0.78	0.99	0.78	696.62	4.14	5.84
DR 19	1.10	1.34	0.82	964.66	4.76	4.80
DR 22	1.61	1.73	0.93	1,269.3	4.68	4.53

4. 결론

본 연구는 고강도 폴리머 콘크리트의 단철근/복철근 보에 대한 휨거동 특성을 시험적으로 구명 한 결과로서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 폴리머 콘크리트는 고강도이면서 낮은 탄성계수를 나타내고 있으며, 압축강도 1,450kg/cm², 할열인장 강도 108kg/cm², 휨강도 266kg/cm², 탄성계수 3.59×10⁵ kg/cm² 이며, 보시험체의 극한 모멘트 강도는 단 철근일 때 506.56~1,098.36 t·m/m³ 복철근일 때 497.74~1,269.3 t·m/m³ 을 나타냈다.
2. 극한하중에 따른 극한치짐은 단철근 18.1~28.1mm, 복철근 24.6~36.9mm 으로 주철근비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 인성지수는 단철근보가 2.62~7.02, 복철근은 5.12~20.15로 주철근비 가 증가함에 따라 감소하였고, 복철근이 단철근에 비해 약 75% 크게 나타났다.
3. 고강도 폴리머 콘크리트보의 압축측에서 변형율은 일반 시멘트 콘크리트 변형율보다 크게 나타났는 데, 단철근보에서는 주철근비가 증가함에 따라 변형율이 감소하였으며, 복철근보에서는 압축측의 보강 으로 인해 변형율이 증가함을 알 수 있다.

감사의 글

본 논문은 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Hsu, H. T, "Flexural Behavior of Polymer Concrete Beams", Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, 1984
3. Yeon, K. S, Kim, K. H., and Shin, Y. S, "Flexural Performance of Singly/Doubly Reinforced Polmer Concrete Beams", Proceedings of the 3rd Southern African Concrete ad ICPIC Workshop, pp. 352-361, 1997
4. Fowler, D. W, "Structural Design of Polymer Concrete", Proceedings of the 3rd Southern Africa Conference and ICPIC Workshop, pp. 375-387, 1997
5. Knab, L. I, "Flexural Behavior of Conventionally Reinforced Polyester Concrete Beams", the degree of Doctor of Philosophy, the University of Cincinnati, 1972
6. Rebeiz, K. S., and Fowler, D. W., "Flexural Strength of Reinforced Polymer Concrete made with Recycled Plastic Waste, ACI Structural Journal, Vol. 93, No. 5, pp. 524-530, 1996