

철근 보강 고강도 폴리머 콘크리트보의 휨거동

Flexural Behavior of Reinforced High Strength Polymer Concrete Beams

김 관 호^{*}
Kim, Kwan Ho

연 규 석^{**}
Yeon, Kyu Soek

김 철 영^{***}
Kim, Cheol Young

전 철 수^{***}
Chun, Cheol Soo

ABSTRACT

While a little research has been performed on flexural behavior of reinforced polymer concrete (RPC) beams with the compressive strength lower than $1000\text{kg}/\text{cm}^2$, vary little exists in conjunction with the behavior of RPC $1,400\text{kg}/\text{cm}^2$ or higher in compressive strength. In this paper the flexural behavior of high strength polymer concrete beams with $1,400\text{kg}/\text{cm}^2$ in compressive 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, steel ratio increased with the increase moment strength, decreased with ultimate deflection

1 서 론

폴리머 콘크리트는 용도가 다양하여 가변성있게 사용할 수 있는 신건설재료로서 많은 연구자들에 의해 그 특성이 해명되어 오고 있으며, 각종 제품이나 구조물에 대한 응용 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만 폴리머 콘크리트를 구조물에 이용키 위해서는 구조적 특성에 대한 연구가 이루어져야 하며, 이에 대한 설계기준도 마련되어야 한다. 그러나 아직 폴리머 콘크리트의 구조적 거동에 대한 기존연구는 그리 많지 않은 실정이며, 적용기준 역시 제정되어 있지 않다.

본 연구는 폴리머 콘크리트를 구조물에 응용하기 위한 기초자료를 얻기 위한 것으로서 철근 보강 고강도 폴리머 콘크리트 보의 휨 거동, 보의 강도, 하중-처짐관계, 하중-변형률관계, 극한하중, 변형률 분포와 균열 양상 등을 실험적으로 구명하였다.

2 실험개요

2.1 사용재료 및 배합비

본 실험에는 골재를 105°C 로 24시간 건조한 후 실온으로 냉각시켜 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 13mm인 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 규사를 사용되었다. 또한 유기질인 폴리머 매트릭스와 무기질인 골재의 접착력을 증진시키기 위해 시란(silane)이 사용되었다. 사용된 폴리머 콘크리트의 배합비는 Table 1과 같다.

* 김희원, 농업기반공사

** 김희원, 강원대학교 농공학과 교수

*** 김희원, 강원대학교 농공학과 석사과정

2.2 실험계획

본 실험은 철근 보강 고강도 폴리머 콘크리트 보의 휨거동을 구명하기 위하여 철근비를 달리한 5개의 휨 실험체를 제작하였으며, 그 형상 및 치수는 Table 2와 같다. 모든 실험체의 세부사항 및 제하 조건은 Fig 1과 같으며, 모든 보는 파괴시까지 하중을 주었다. 보의 처짐을 측정하기 위하여 보의 중앙부분과 전단경간 중앙에 LVDT를 설치하였으며, Data-logger를 이용하여 처짐과 변형률을 재하 단계별로 측정하였다. 콘크리트 및 철근용 스트레인 게이지를 이용하여 각각의 변형률을 측정하였다. 게이지 부착위치는 Fig 1과 같다.

Table 1 Mix proportion of polymer concrete

(unit: wt. %)

Binder				Filler	Aggregate	
UP+ST	SRA	Initiator content (phr)	Silane (phr)		Coarse aggregate	Fine aggregate
8.27	2.75	1.0	2.0	12	27.2	49.8

Note UP : Unsaturated polyester resin
 ST : Styrene monomer
 SRA : Shrinkage reducing agent
 phr : parts per hundred parts of resin

Table 2 Detail of flexural test beams

Beam n	b (cm)	d (cm)	Tensile reinforcement	$\rho (A_s/bd)$
FB-1	16	21	2-D29	0.038
FB-2	16	21	2-D32	0.047
FB-3	16	21	4-D29	0.076
FB-4	16	21	2-D29, 2-D32	0.085
FB-5	16	21	4-D32	0.094

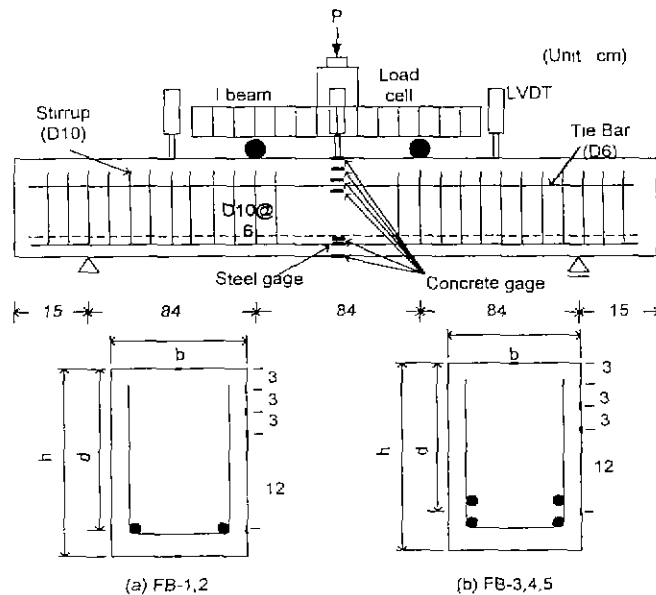


Fig 1 Detail of flexural test beams

3. 결과 및 고찰

3.1 보의 강도

Table 3은 고강도 폴리머 콘크리트의 역학적 특징을 나타낸 것이다. 폴리머 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트보다 고강도임을 알 수 있었고, 탄성계수는 비슷한 값을 나타내고 있다. Table 4는 철근보강 폴리머 콘크리트 보의 휨실험결과를 나타낸 것이다. 이 결과에서 극한모멘트강도는 FB-1 ($\rho=3.8\%$)에서 $1,686 \text{ kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$, FB-2($\rho=4.7\%$)에서 $2,055 \text{ kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$, FB-3($\rho=7.67\%$)에서 $2,494 \text{ kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$, FB-4($\rho=8.5\%$)에서 $2,706 \text{ kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$ 이었으며, 철근비가 가장 높은 FB-5($\rho=9.4\%$)에서 $2,848 \text{ kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$ 를 얻었다.

Table 3 Mechanical properties of polymer concrete (Average of six specimens)

Beam n	Compressive strength (kgf/cm ²)	Splitting tensile strength (kgf/cm ²)	Flexural strength (kgf/cm ²)	Secant modulus of elasticity (10 ⁵ kgf/cm ²)
FB-1	1,385	125	312	2.8
FB-2	1,400	120	296	3.0
FB-3	1,390	123	290	2.7
FB-4	1,410	126	310	3.0
FB-5	1,390	115	300	3.1
Mean	1,395	122	302	2.9

Table 4 Test results on reinforced polymer concrete beams

Beam n	b (cm)	d (cm)	$\rho (A_s/bd)$	Ult. load P _u (kgf)	Ult. moment M _u (10 ³ kgf · cm)	Ult. moment strength M _u /bd ² (10 ⁴ kgf · cm/cm ³)
FB-1	16	21	0.038	28,500	11.9	1,686
FB-2	16	21	0.047	34,600	14.5	2,055
FB-3	16	21	0.076	42,000	17.6	2,494
FB-4	16	21	0.085	45,600	19.1	2,706
FB-5	16	21	0.094	47,860	20.1	2,848

3.2 하중-처짐 관계

Fig 2에서는 재하 하중의 증가에 따른 고강도 폴리머 콘크리트 보의 처짐을 나타내고 있다. 하중-처짐도로부터 인장철근비가 증가할수록 모든 보의 극한하중이 증가함을 알 수 있었으며, 인장철근비가 증가할수록 극한 처짐이 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한, 하중초기에는 선형적인 탄성거동을 보였으며, 항복하중에 도달함에 따라 곡선이 비탄성적으로 변화함을 알 수 있었다. 이는 폴리머 콘크리트의 높은 강도와 주철근비의 차이로 인한 구조적 특성 때문이라고 판단되며, 비선형변화 이후부터 극한변형에 이르기까지 처짐량은 급격히 증가하는 양상을 보였으며 탄성거동은 수직 휨균열 발생과 동시에 종료되는 결과를 보였다.

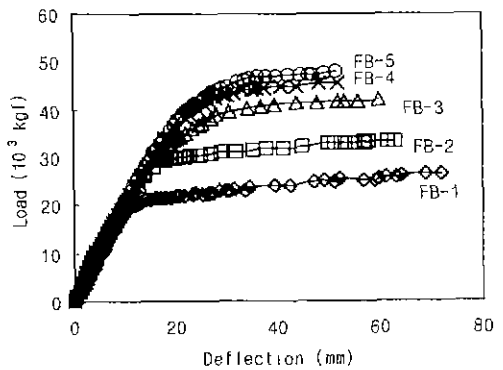


Fig 2 Load vs. deflection plots of reinforced beams with varying reinforcement ratios

3.3 하중-주철근 변형률 관계

Fig. 3에 나타난 바와 같이 하중 증가에 따른 주철근 변형률의 양상이 조금씩 상이하게 나타났다. 즉 하중이 증가함에 따라 선형관계가 성립되지 않는 점은 초기 휨균열이 발생하였기 때문이다. 그리고 하중이 증가함에 따라 다시 선형적인 변화를 보이다가 곡선이 급격히 꺾어지는 부분이 있는데, 이처럼 비선형적 변화가 시작되는 점은 초기 휨 균열 이후 균열이 더욱 진전되어 발생한 것으로 주철근이 항복되어 나타나는 결과라고 판단된다.

주철근비가 증가하면서 하중과 주철근 변형률 곡선의 초기 기울기가 급하게 나타났는데, 이는 주철근비의 증가와 더불어 휨강성이 증대되어 나타나는 결과라고 하겠다. FB-1($\rho=0.038$) 실험체의 극한 주철근 변형률은 0.0190, FB-2($\rho=0.047$) 실험체는 0.0170, FB-3($\rho=0.076$) 실험체는 0.0143, FB-4($\rho=0.038$) 실험체는 0.0143, FB-5($\rho=0.094$) 실험체는 0.0132로서 주철근비가 증가함에 따라 주철근의 변형률은 조금씩 감소함을 알 수 있었다.

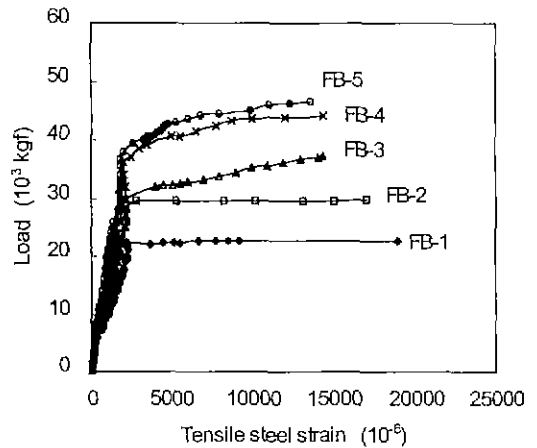


Fig. 3 Load vs. tensile steel strain for reinforced beams with varying reinforcement ratios

3.3 변형률 분포

Fig. 4은 극한하중의 $P_u/3$, $2P_u/3$ 및 P_u 일 때 보의 중앙점에서 깊이별 폴리머 콘크리트의 변형률 분포를 직선회귀식으로 나타낸 것이다. 모든 보에서 변형률은 극한하중의 95% 재하사까지 측정하였으며, 극한하중에 가까워질수록 변형률은 다소 비선형적인 경향을 보였다.

Fig. 5는 각 보에 대한 재하 단계별 중립축 이동상태를 나타낸 것이다 여기서 하중이 증가함에 따라 중립축이 인장측으로 이동하면 과다철근 보, 압축측으로 이동하면 과소철근 보로 판별 할 수 있다.

이 결과에서 보는 바와 같이 중립축이 재하 초기단계에서는 변화가 거의 없다가 휨균열이 형성되고, 파괴선에 도달하면서 압축측으로 이동함을 알 수 있다 이러한 경향은 하중이 재하되면서 인장철근이 하중을 부담하다가 최종 파괴시는 중립축이 압축측 쪽으로 이동하면서 보가 파괴됨을 보여주는 결과라고 하겠다. 또한, 주철근비가 증가함에 따라 중립축 깊이가 커졌는데, 이는 압축강도가 일정할 경우 주철근비가 증가함에 따라 압축력이 증가하기 때문에 중립축 깊이가 커져야 한다는 일반적인 개념과 일치하는 결과를 나타냈다.

3.4 파괴양상 및 균열형성

Fig. 6에서 휨실험체에 대한 균열형성 상태를 살펴보면 초기균열은 휨 구간 인장측에서 발생하였고, 이후의 균열은 하중이 증가함에 따라 보의 하단에서 시작하여 상단으로 수직하게 진전되었다 모순 실험체는 전단경간에 스테립을 설치하였기 때문에 전단경간에서의 전단균열은 발생하지 않았다.

균열에 대한 철근비의 영향을 살펴보면, 철근비가 증가함에 균열의 수는 감소하는 경향을 보여 균열간격은 크게 나타났다 또한 최종 파괴에 이를 때 주균열이 수직방향으로 진행하지 못하고 횡방향으로 진행하였는데, 이는 아치 작용으로 인하여 압축부로부터 이상 균열이 진전하지 못해서 발생한 현상이라 하겠다

Table 5는 휨실험 결과로부터 초기균열하중과 균열 모멘트, 균열수 및 균열간격 등을 분석한 것이다 이 결과를 보면 주철근비가 증가할수록 초기균열 하중 및 균열모멘트는 크게 나타났으나, 철근비가 낮을 수록 균열의 수는 많이 형성되고 균열폭도 작아 균열 발생양상이 매우 이상적임을 알 수 있었다

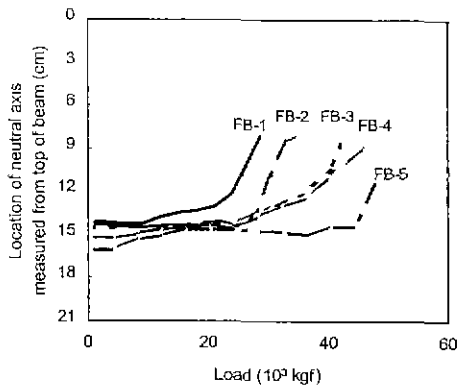


Fig 5 Variation of neutral axis versus applied load for beams with various reinforcement ratio

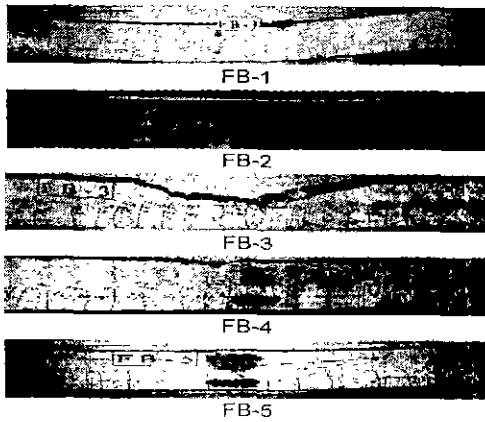


Fig 6 Crack patterns and failure modes of polymer concrete beams with varying steel ratios

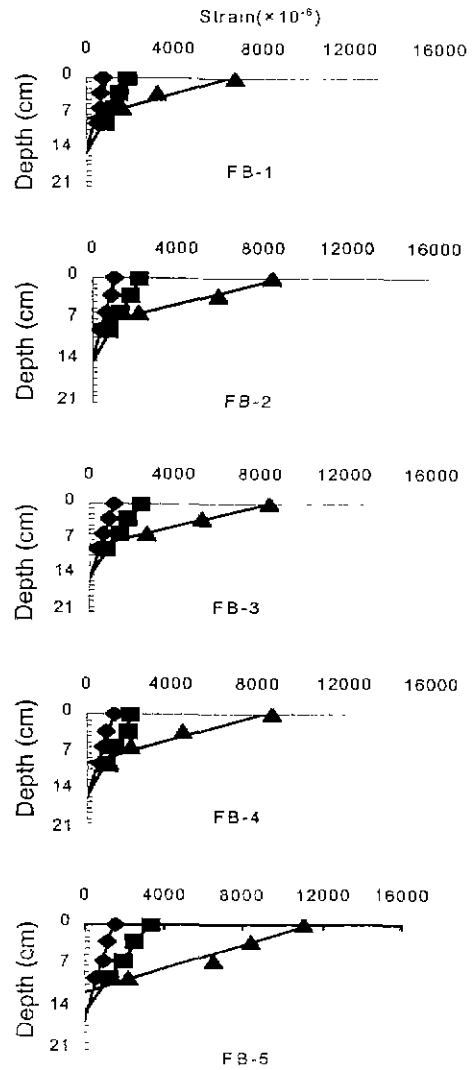


Fig 4 Strain distributions for beams with various reinforcement ratio at load level equal to $\frac{P_u}{3}$, $\frac{2P_u}{3}$ and P_u

Table 5 Development of flexural crack

Beam n	Initial cracking load (kgf)	Initial cracking moment (kgf · cm)	Number of flexural cracks (n)	Crack space L/n (cm)
FB-1	7,200	302,400	22	11.4
FB-2	8,300	348,600	20	12.6
FB-3	9,000	378,000	18	14.0
FB-4	10,000	420,000	17	14.8
FB-5	11,400	478,800	14	18.0

Note : Clear span (L) = 252 cm

4. 결론

본 논문은 고강도 폴리머 콘크리트 보의 휨특성을 시험적으로 구명한 결과로서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 폴리머 콘크리트의 강도는 매우 크지만, 탄성계수는 매우 적어 보통 시멘트 콘크리트의 탄성계수와 비슷한 값을 나타냈으며, 폴리머 콘크리트 보의 극한 모멘트강도는 $1,686 \text{ kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$ 에서 $2,848 \text{ kgf} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$ 을 얻었다.
2. 모든 보는 철근비가 증가할수록 극한하중이 증가하였고, 최대극한 처짐은 감소하였다. 하중-처짐곡선에서는 하중초기에는 선형적인 탄성거동을 보였으며, 항복하중에 도달함에 따라 곡선이 비탄성적으로 변화함을 알 수 있었다.
3. 하중 증가에 따른 주철근 변형률의 양상이 조금씩 상이하게 나타났으며, 이는 초기 휨균열의 발생으로 인한 결과이다. 철근보강 고강도 폴리머 콘크리트 보의 극한 변형률은 0.0190부터 0.0132의 분포를 나타냈다.
4. 휨시험체의 압축측으로부터의 깊이별 변형률 분포는 측정결과 선형적으로 나타났으며, 휨균열이 형성되고 파괴점에 다다르면 중립축은 압축측으로 이동함을 알 수 있었으며, 철근비가 증가할수록 중립축 깊이는 깊어진다.
5. 모든 보는 인장철근이 파괴된 후에 압축측에서 파괴되었으며, 철근비가 증가할수록 균열 수는 감소하고 균열폭은 증가하며, 초기균열하중이 높아지고, 초기균열모멘트 또한 증가한다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Fowler, D W., "Structural Design of Polymer Concrete," Proceedings of the 3rd Southern African Conference and JCPIC Workshop, pp. 375-387, 1997.
2. 장 일영, 이 효범, 변 근주, "초고강도 콘크리트의 재료특성 및 휨거동에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회, 제4권, 제2호, pp. 107-112, 1993.
3. Hsu, H T., "Flexural Behavior of Polymer Concrete Beams," Ph. D. Dissertation, University of Texas at Austin, 1984.
4. 강 철규 외 4인, "초고강도 RC보의 휨 거동," 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제9권, 제1호, pp. 475-492, 1997