

UHPCC를 사용한 전단보강이 없는 I형 보의 거동에 대한 실험적 연구

Experimental Study of Behavior in I Shaped RC Beams without stirrups using Ultra High Performance Cementitious Composite

강수태* 박정준* 김성욱** 한상묵*** 전상은**** 이장화*****

Kang, Su Tae · Park, Jung Jun · Kim, Sung Wook · Han, Sang Muk · Jeon, Sang Eun · Lee, Jang Hwa

ABSTRACT

Recently, Many researchers are interested in ultra-high performance cementitious composite characterized by high strength and high durability and trying to apply for structural members. In this paper, twelve fiber-reinforced UHPCC with high compressive strength over 150MPa I shaped beam without stirrups were tested under various conditions to investigate the mechanical behavior of UHPCC I shaped beam without stirrups. Variables considered in this study includes steel fiber volume fraction, reinforcement steel ratio, and shear spar ratio.

1. 서 론

최근 들어 고강도 콘크리트와 고성능 시멘트 복합재료는 놀라운 발전을 거듭해오고 있다. 시멘트 복합재료의 강도는 공극의 다공성에 크게 영향을 받으므로 이를 감소시키기 위한 방법으로 macro defect free(MDF)시멘트와 고분체 미립자(Densified with Small Particle, DSP)를 사용한 고성능 시멘트 복합재료가 연구되었으며, 그리고 콘크리트의 압축강도와 더불어 고강도 콘크리트에서 문제가 되는 연성과 인성을 증가시키기 위한 방법으로 섬유보강재를 혼합함으로써 휨강도와 인장강도를 증가시킨 고성능 콘크리트에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있다.

초고성능 시멘트 복합재료는 압축강도 150MPa 이상이면서 연성거동을 하는 특징을 가지고 있으며 현재 선유교의 사례, 캐나다 Sherbrooke 보도교의 예에서 볼 수 있는 바와 같이 구조물의 부재에 대한 적용에까지 이르고 있다. UHPCC(Ultra High Performance Cementitious Composite)는 동일 내하력에 대해 단면의 크기를 대폭 줄일 수 있어 도심 교량에 적용할 경우 교하 공간을 현저하게 확보할 수 있고, 아주 작은 공극량을 가진 치밀한 조직을 가지고 있어 내구성에서도 월등한 성능을 가지는 등 많은 장점을 지니고 있다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원
*** 정회원, 금오공과대학교 토목공학과 교수
**** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 대리
***** 정회원, 한국건설기술연구원 기획조정실 기획조정실장

2. 연구내용 및 방법

2.1 연구내용

본 실험에서는 I형 단면형상을 가진 UHPCC RC보에서 섬유혼입물의 영향, 철근비의 영향, 그리고 전단스팬비의 영향을 파악하기 위하여 두 가지 단면크기를 가진 I형 보 12개의 시편을 제작하였다. 우선 그림. 1의 단면형상으로 섬유혼입물의 영향을 파악하기 위해서 철근비와 시편의 길이를 일정한 값으로 하고 섬유혼입물의 각각 1%, 2%, 3%의 세 가지에 대해 제작을 하였으며, 철근비의 영향 파악을 위해서 섬유혼입물과 시편의 길이를 고정하고 철근비를 각각 $0.5 \rho_b$, $0.35 \rho_b$, $0.2 \rho_b$ 의 세 가지 경우에 대해 고려하였다. 그리고 전단스팬비의 경우 섬유혼입물과 철근비를 고정값으로 한 상태에서 a/d 값을 각각 2, 4의 경우로 나누어 제작하였다

그림. 2의 단면형상은 시험체 제작과정에서 믹서기 용량의 제한으로 전단스팬비 4, 6, 8에 대한 실험에 대해 보다 작은 크기의 단면으로 하기 위해서 제작되었으며 이 단면의 시험체에 대해 철근비가 각각 $0.5 \rho_b$, $0.41 \rho_b$ 의 두 개의 값에 대한 실험도 수행하였다. 각각의 실험조건에 대해 압축강도 150 MPa인 초고강도 시멘트 복합재료를 표. 1과 같은 배합으로 타설하였다.

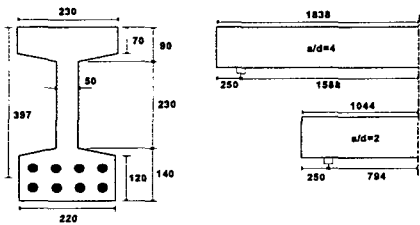


그림. 1 I형보(Type I) 시험체의 형상과 치수

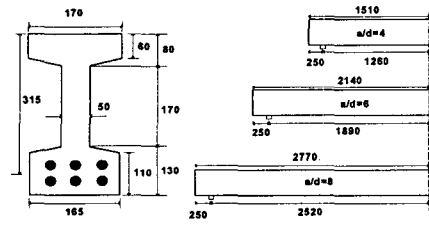


그림. 2 I형보(Type II) 시험체의 형상과 치수

표. 1 시멘트 복합재의 기본 배합표(중량비)

W/B	0.2
시멘트	1
실리카폼	0.25
충전재	0.3
잔골재	1.1
고성능감수제	0.015

표. 2 사용재료 특성

구성재료	물리적 특성			
	섬유혼입물	$V_f=1$	$V_f=2$	$V_f=3$
콘크리트	압축강도(MPa)	144	146	152
	인장강도(MPa)	12.9	13.9	17.6
	탄성계수(GPa)	47.4	49.0	51.8
철근	항복강도(MPa)	5.38×10^2		
	인장강도(MPa)	6.34×10^2		
	탄성계수(MPa)	2.15×10^6		
강섬유	인장강도	2500 MPa		

2.3 실험방법

실험은 MTS actuator를 사용하여 3점재하 휨 실험을 실시하였다. 시편의 양쪽 단부로부터 일정거리에서 강재로울러를 설치하여 시편의 지지점으로 하였다. 강재 로울러는 수직방향 변위와 회전에 대

한 구속이 없도록 제작되었다. 재하중심은 무게추를 이용하여 유지하였고, 수평기로 시편의 수평을 유지하여 시편에 편심이 발생하지 않도록 하였다. 특별히 제작된 강제 가력보를 actuator에 볼트와 너트를 이용하여 결속하여 하중을 재하하였으며, actuator를 1.0mm/min의 속도로 변위제어 방식으로 재하하였다. 작용하중은 actuator에 부착된 로드셀에 의해 측정하였으며, 작용하중에 대한 처짐을 측정하기 위하여 보의 중앙부와 1/4지점에 각각 변위계(LVDT)를 설치하였다. 그리고 철근과 콘크리트의 변형률은 각각 steel 변형률 게이지와 concrete 변형률 게이지를 부착하여 측정하였다. 실험결과는 Data Acquisition System을 이용하여 획득하였다.

표 3. 시험체의 균열하중 및 최대하중 결과

구분		Parameters			first cracking		ultimate state	
		섬유혼입률 (V_f)	철근비 ($\times \rho_b$)	전단스팬비 (a/d)	Load	Deflection	Load	Deflection
specimen Type I	SR50-VF2-SS2	2%	0.50	2	46	3.9	110	9.6
	SR50-VF1-SS4	1%	0.50	4	24	3.7	35	10.4
	SR50-VF2-SS4	2%	0.50	4	24	4.6	38	15.3
	SR50-VF3-SS4	3%	0.50	4	33	5.6	60	12.5
	SR35-VF2-SS4	2%	0.35	4	26	4.9	52	13.6
	SR20-VF2-SS4	2%	0.20	4	15	3.3	43	14.8
specimen Type II	SR41-VF2-SS4	2%	0.41	4	22	5.4	50	31.5
	SR41-VF2-SS6	2%	0.41	6	16	9.8	27	20.5
	SR41-VF2-SS8	2%	0.41	8	14	18.5	22	69.8
	SR50-VF2-SS4	2%	0.50	4	22	5.0	43	12.3
	SR50-VF2-SS6	2%	0.50	6	18	10.6	31	24.8
	SR50-VF2-SS8	2%	0.50	8	18	10.9	28	77.6

3. 실험결과 및 분석

(가) 섬유혼입률이 I형 보 거동에 미치는 영향

섬유혼입률에 따른 I형 단면의 UHPCC RC보의 거동을 살펴보면 그림. 3에서 보는 바와 같이 섬유 혼입률이 증가할수록 최고하중 값이 크게 나타났으며, 그 때의 변형률 값도 크게 나타났다. 하강부에서는 섬유혼입률이 클수록 연화구간의 곡선의 기울기가 더 가파른 경향을 보였다. 이것은 단위체적당 섬유혼입률이 많을수록 매트릭스와 섬유사이의 상호결속(Interlocking)의 효과와 균열면에서 단위면적당 많은 수의 섬유가 버팀역할을 하여 인장저항력이 증대됨에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 압축과 인장강도 시험에서 섬유혼입률에 따른 강도변화의 결과를 고려해 볼 때 타당한 결과라고 판단된다.

(나) 주철근비가 I형 보 거동에 미치는 영향

주철근비에 따른 거동을 살펴보면, 철근비가 0.2 ρ_b 의 경우 휨파괴가 발생하였으며 0.35 ρ_b 의 경우에는 전단파괴가 발생하였다. 0.2 ρ_b 의 경우 낮은 철근비로 전단파괴가 일어나기 전에 철근의 항복으로 휨파괴가 발생하였으며 이 경우 최고하중 이후 약 100mm 처짐이 일어날 때까지 최고하중의 85% 이상의 하중을 지지하였다. 0.35 ρ_b 와 0.5 ρ_b 의 경우 복부에서 전단균열이 발생하면서 전단에 의한 파괴가 일어났다.

(다) 전단스팬비에 따른 거동특성

그림. 5는 타입 II의 단면형상에 대해 전단스팬비의 변화에 따른 보의 거동특성 변화를 나타내고 있다. 예상할 수 있는 바와 같이 전단스팬비가 작을수록 훨씬 큰 내하력을 가지는 것을 확인할 수 있으며 전단스팬비가 8인 경우, 철근비가 균형철근비의 0.5 그리고 0.41 두 가지 경우 모두에서 휨파괴가 발생하였으며 이외의 경우는 모두 전단파괴가 발생하였다.

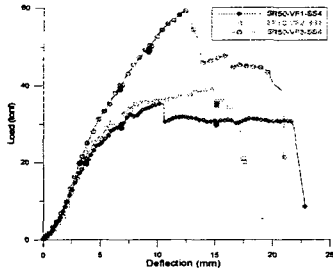


그림. 3 섬유혼입률 변화에 따른 하중-처짐곡선

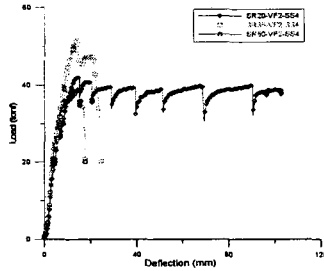


그림. 4 주철근비의 변화에 따른 하중-처짐곡선

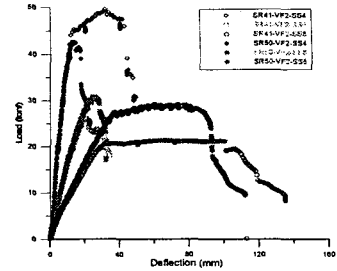


그림. 5 전단스팬비 변화에 따른 하중-처짐곡선(Type II)

4. 결 론

UHPCC를 사용한 전단철근이 없는 I형 보의 거동에 대한 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 파괴양상은 낮은 하중단계에서 다수 균열이 발생한 후, 높은 하중단계에서 특정균열의 균열폭이 증가하여 파괴에 이르는 양상을 보였다.
- (2) 섬유혼입률이 증가함에 따라 균열하중과 최고하중이 증가하였으며, 최고하중 이후 하강부는 섬유혼입률이 클수록 경사가 크게 나타났다. 그리고 철근비가 증가할수록 항복하중 이후 최고하중까지 하중의 증가가 뚜렷이 나타났으며, 보다 연성거동이 향상되어 나타났다.
- (3) 전단철근이 없는 UHPCC RC보의 저항 휨모멘트 및 전단력에 대한 정확한 예측을 통해 UHPCC 보의 설계기준 전반에 대하여 합리적인 반영이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건교부 2003년도 산·학·연 과제 '초고성능 시멘트 복합재료를 활용한 교량거더 개발'에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Craig, R. J., "Flexural Behavior and Design of Reinforced Fibrous Concrete Members, Fiber Reinforced Concrete Properties and Application", SP 105-28, American Concrete Institute, Detroit, 1987, pp. 517-563
2. Pierre Richard, Reactive Powder Concrete: A New Ultra-High-Strength Cementitious Material, 4th International Symposium on Utilization of High-strength/High-performance concrete, Paris, 1996