

HPFRCC Beam 부재의 전단거동에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Shear Behavior of HPFRCC Beam

송 태 화^{*}
Song, Tae Hwa

이 성 철^{**}
Lee, Seong Cheol

신 경 준^{***}
Shin, Kyung Joon

장 승 필^{****}
Chang, Sung Pil

ABSTRACT

In this research, bending shear test of HPFRCC beams is conducted to obtain the shear strength of HPFRCC beams. Parameters are ratio of volume percentage of fibers. Also, the uniaxial tensile test of HPFRCC is conducted to obtain the tensile cracking stress of each parameters. From the uniaxial tensile test result, the shear strength of HPFRCC beams can be calculated by using the preexisting shear analysis model. Then, the shear strengths of bending shear test result and analysis result are compared.

1. 서론

시멘트를 원료로 하는 건설재료의 단점인 취성적 파괴 거동을 보완하기 위해서 연성이나 강도가 일반 콘크리트보다 월등한 고기능성 시멘트계 복합재료인 HPFRCC(High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite) 재료 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 HPFRCC 재료는 콘크리트의 휨강도 증진을 위해 주로 쓰이고 있어 이에 대한 연구는 많이 진행되고 있다.

HPFRCC 재료의 사용으로 휨강도 측면에서는 더 큰 하중을 견딜 수 있게 되지만, 이에 따라 부재에 작용하는 전단력도 커지게 되므로 HPFRCC 부재의 전단에 대한 고려도 필요하다. 하지만 기존의 HPFRCC 부재의 전단에 대한 연구는 활발하지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 보다 합리적인 전단 설계를 할 수 있도록 HPFRCC Beam 부재에 대한 전단 실험을 수행하고 기존 해석 모델과 비교하였다.

2. 본론

기존의 HPFRCC부재의 전단 해석 방법에 대한 몇몇 연구가 행해져 왔으며, Vasillaq Xoxa(2003)는 MMCFT(Modified-Modified Compression Field Theory)에 의한 해석방법을 제안하였다. 하지만 이는 MCFT(Modified Compression Field Theory)(Vecchio and Collins, 1986)에 기초하여 HPFRCC panel 만

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사과정

*** 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사

**** 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

의 전단 해석에 그치고 있다. 따라서 HPFRCC panel이 아닌 Beam 부재의 전단강도에 대한 실험 및 해석을 수행하여 비교 분석하였다. 본 연구에서는 Matrix 배합비를 고정시키고 혼합되는 섬유를의 비율을 변수로 두어 각 변수별 Beam 부재의 전단강도를 측정하였다. 또한 해석 모델에 필요한 f_{cr} (tensile cracking stress) 값은 각 변수별로 직접인장강도 실험을 통해 구하였다. 실험에 사용된 변수 및 배합비, 실험 방법 등은 다음과 같다.

2.1. 실험 개요

2.1.1. 배합비

(1) Matrix 배합비

Matrix 배합비는 기존의 연구결과를 바탕으로, 표 1과 같은 W/C 비 0.55의 배합을 사용하였다.

표 1 Matrix 배합비

시멘트(C)	1
물(W)	0.55
규사(S)	0.6
Fly ash(F)	0.6

표 2 섬유 혼합비(부피비)

	PVA 8mm (%)	PVA 30mm (%)	Steel 30mm (%)
P1	2.0	-	-
P2	2.5	-	-
P3	2.0	0.5	-
P4	1.5	1.0	-
PS1	2.0	-	0.5
PS2	1.5	-	1.0

(2) Fiber 혼합비

HPFRCC의 균열 분산을 위하여 섬유의 혼합비는 통상적으로 부피비 2% 내외를 사용하고 있기 때문에 섬유 혼합 비율 및 종류에 따른 전단강도를 비교하기 위해 표 2와 같이 정하였다.

2.1.2. Beam 실험

(1) Beam 부재치수

사용된 철근은 균형철근비보다 작은 철근비를 갖도록 D13 철근을 사용하였고, 부재의 치수는 전단파괴를 유도하기 위해 그림 1과 같이 정하였다.

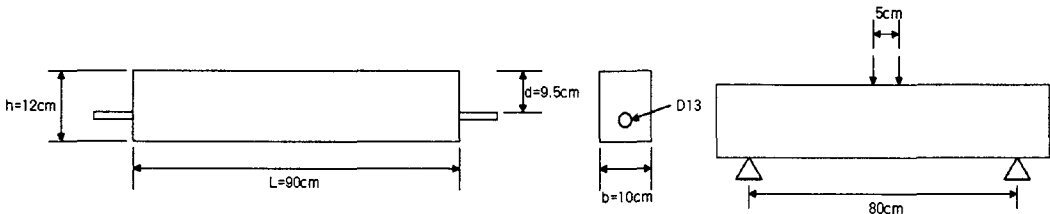


그림 1 Beam 부재 치수

그림 2 하중 재하 방법

(2) 하중 재하 방법

하중 재하는 그림 2와 같이 4점 재하의 방법으로, 변위 제어를 채택하여 0.05mm/Min의 속도로 가력하였다.

(3) 실험결과

Beam 부재의 휨전단 실험 결과 그림 5와 같이 초기에는 섬유의 영향으로 분산된 휨균열이 발생하고, 이후 추가 하중에 의하여 전단균열로 이어지는 균열 양상을 보였다.

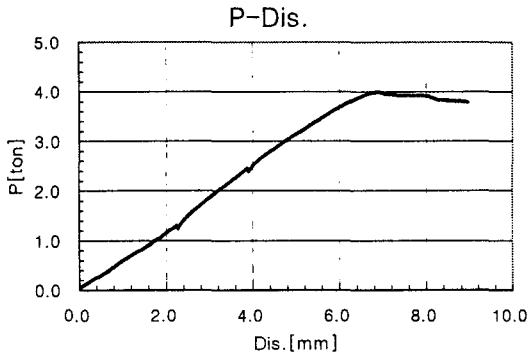


그림 3 휨전단 실험 그래프 [P3]

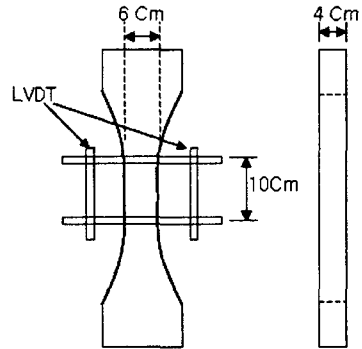


그림 4 직접인장 시편 치수



그림 5 휨전단 Beam 부재 균열도 [P3]

실험 결과 하중-처짐 곡선은 그림 3과 같이 나왔으며, 각 변수별 Beam 부재의 전단강도는 표 3과 같다.

표 3 각 변수별 실험 및 해석에 의한 전단강도

단위 : ton

부재명	P1	P2	P3	P4	PS1	PS2
전단강도 (실험값)	1.9975	1.9375	1.9925	2.12	2.1675	2.05
전단강도 (해석값)	1.81	1.84	1.85	1.83	1.81	1.83

2.1.3. 직접인장 실험

(1) 시편 치수 및 방법

직접 인장 실험에 사용된 시편의 치수는 그림 4와 같고, 하중은 변위 제어 방법으로 0.2mm/Min의 속도로 가력하였다. 그림 4와 같이 양쪽에 부착한 LVDT에 의해 측정 길이에 대한 변위를 변형률로 환산하여 구한 응력-변형률 곡선으로부터 f_{cr} 값을 구하였다.

(2) 실험 결과

각 변수별 직접인장 실험을 통해 얻은 f_{cr} 은 표 4와 같다.

표 4 직접인장 실험으로 얻은 각 변수별 f_{cr}

단위 : MPa

부재명	P1	P2	P3	P4	PS1	PS2
f_{cr}	3.10	2.90	2.56	2.94	3.47	2.95

2.2. 전단 해석

2.2.1. 해석 모델

해석에 사용된 모델은 Beam의 단면을 철근과 콘크리트의 여러 개의 층으로 나누어 각 층별 힘의 평형을 고려한 Vecchio and Collins(1998)의 Layered Model을 사용하였고, 각 layer 별 해석은 하나

의 층을 콘크리트 panel로 가정하여 HPFRCC 부재의 인장특성을 고려한 MMCFT를 사용하였다. HPFRCC 부재의 인장특성을 나타내는 변수 중 f_{cr} 값이 직접인장 실험을 통해 얻은 값과 Vasillaq Xoxa의 연구에서 제시한 $0.25\sqrt{f'_c}$ (f'_c :압축강도)과는 상이하러, 본 해석에서는 실험으로 얻은 f_{cr} 값을 사용하였다. 또한 Layered Model에서 부재 단면의 Shear flow는 constant distribution을 가정하였다.

2.2.2. 해석 결과

해석을 통해 구한 각 변수별 전단강도는 표 3과 같다.

3. 실험 및 해석 결과의 비교 및 분석

표 3에서 각 변수별 전단강도의 실험값을 살펴보면 PVA 8mm 섬유만을 사용하였을 때보다 PVA 8mm 섬유에 PVA 30mm와 Steel 30mm 섬유를 같이 사용한 경우 전단강도가 더 크게 나온 것을 알 수 있다. 따라서 복합 섬유를 사용하는 것이 전단강도에 더 효율적인 것을 알 수 있다.

실험 및 해석을 통해 얻은 전단강도를 비교한 표 3에서 보면 해석을 통해 구한 전단강도 값들은 변수별로 큰 차이를 나타내지 못하고, 또한 실제 실험을 통해 얻은 값과도 다소 차이가 남을 알 수 있다. 이는 해석 시 Layered Model에서 단면 깊이별 변형률을 선형 분포로 가정한 것과 부재의 길이에 대한 하중 재하 위치에 따른 아칭 액션의 효과를 고려하지 않은 것 등과 같은 원인에 의한 것으로 사료된다.

4. 결론

HPFRCC Beam 부재의 전단 실험을 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) PVA 단일 섬유보다 복합 섬유를 사용하는 것이 전단강도에는 보다 효율적이다.
- (2) Layered Model에 의한 HPFRCC Beam 부재의 전단 해석 결과, 실제 실험에서 얻은 전단강도보다 다소 작게 나왔으며, 이는 해석 시 깊이별 변형률을 선형으로 가정한 것과 아칭 액션의 미고려 등에 인한 것으로 사료되며 추후 연구를 통해 보완할 예정이다.

참고문헌

1. Frank J. Vecchio and Michael P. Collins, "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear", ACI Journal, March-April 1986.
2. Frank J. Vecchio and Michael P. Collins, "Predicting the Response of Reinforced Concrete Beams Subjected to Shear Using Modified Compression Field Theory", ACI Structure Journal, May-June 1988.
3. Vasillaq Xoxa, "Investigating the Shear Characteristics of High Performance Fiber Reinforced Concrete", 2003.