

# 유동에 따른 섬유 방향성 분포특성 변화가 초고성능 시멘트 복합체의 인장거동에 미치는 영향

## Flow-dependent Fiber Orientation Distribution and Its Effect on the Tensile Behavior of Ultra High Performance Cementitious Composites

강 수 태\*      김 진 군\*\*  
Kang, Su-Tae      Kim, Jin-Keun

### ABSTRACT

In this paper, it was intended to understand the effect of the fiber orientation distribution on the tensile behavior of Ultra High Performance Cementitious Composites (UHPCC) and to estimate flow-dependent fiber orientation distribution and the corresponding tensile behavior of UHPCC.

### 요 약

본 연구에서는 초고성능 시멘트 복합체의 섬유 방향성 분포특성의 변화가 인장거동에 미치는 영향을 평가하였다. 그리고 유동에 따른 섬유방향성 분포 변화와 이에 따른 인장거동의 변화를 파악하였다.

### 1. 서 론

섬유의 방향성은 복합체의 역학적 성능, 특히 인장 특성을 결정하는데 있어 매우 중요한 요소이며[1], 적용부재의 구조적 성능이 섬유의 방향성 분포특성에 의해 크게 영향을 받게 된다. 그러므로 섬유의 방향성에 따라 UHPCC의 인장거동이 어떻게 변하는지 명확히 밝힐 필요가 있다. 또한 초고성능 시멘트 복합체는 굵은골재를 사용하지 않고 높은 유동성을 가지므로 유동방향에 따라 불가피하게 섬유의 방향성을 유발하게 되고, 따라서 재료의 역학적 특성 및 경화 후 구조물의 구조적 성능에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 초고성능 시멘트 복합체의 섬유 방향성 분포특성의 변화가 인장거동에 미치는 영향을 평가하고, 유동에 따른 섬유방향성 분포 변화와 이에 따른 인장거동의 변화를 파악하였다.

### 2. 강섬유의 인발거동

섬유방향성 분포특성이 초고성능 시멘트 복합체의 인장거동에 미치는 영향을 평가하기 위한 선행 연구로서, 강섬유의 인발거동을 우선 파악하였다. 인발실험은 인장력 작용방향에 대한 섬유의 경사각 0°, 15°, 30°, 45° 및 60°에 대해 각각 수행하였으며, 실험결과에 따르면 30°와 45°일 때 최대 인발하중이 가장 크게 나타났고, 최대 인발하중에서의 슬립변위는 경사각이 클수록 증가하는 것으로 나타났

\* 정희원, 한국건설기술연구원, 구조교량연구실, 선임연구원

\*\* 정희원, 한국과학기술원, 건설 및 환경공학과, 교수

다. 실험결과로부터 초고성능 시멘트 복합체에 대해 강섬유의 경사각과 최대 인발하중과의 관계를 정량화하였으며, 섬유 방향성 분포의 영향을 평가하였다. 균열이전의 인장거동은 매트릭스와 섬유의 계면에 작용하는, 탄성범위 내에서의 전단 전달 메커니즘을 이용하여 표현하였으며, 균열이후 인장거동은 균열면에 놓여진 섬유들의 방향성 분포에 대한 확률분포와 각각의 섬유의 인발거동 모델을 고려하여 나타내었다. 해석결과에 따르면, 섬유방향성 분포의 변화가 균열이전 거동에 미치는 영향은 아주 적은 반면, 균열이후 거동에 크게 작용하는 것으로 나타났다. 이와 같은 예측결과는 실험결과와 비교하였을 때 잘 일치하는 것으로 나타났다.

### 3. 섬유방향성과 인장거동과의 관계

초고성능 시멘트 복합체의 균열이전과 균열이후의 인장거동에 대해 섬유방향성 분포의 영향을 평가하였다. 균열이전의 인장거동은 매트릭스와 섬유의 계면에 작용하는, 탄성범위 내에서의 전단 전달 메커니즘을 이용하여 표현하였으며, 균열이후 인장거동은 균열면에 놓여진 섬유들의 방향성 분포에 대한 확률분포와 각각의 섬유의 인발거동 모델을 고려하여 나타내었다. 해석결과에 따르면, 섬유방향성 분포의 변화가 균열이전 거동에 미치는 영향은 아주 적은 반면, 균열이후 거동에 크게 작용하는 것으로 나타났다. 이와 같은 예측결과는 실험결과와 비교하였을 때 잘 일치하는 것으로 나타났다.

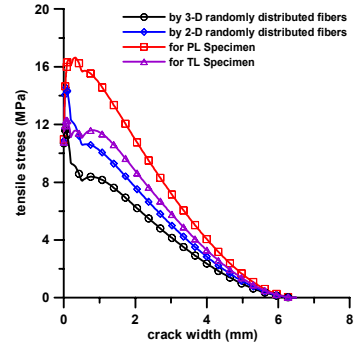


그림 1 섬유방향성 분포에 따른 인장거동 비교

### 4. 유동에 따른 섬유방향성 분포 및 인장거동 변화

균지 않은 상태에서의 유동에 따른 섬유방향성 분포변화에 대해 살펴보았다. 섬유의 회전운동을 나타내기 위해 Jeffery[2]의 방정식을 사용하였다. 초기 섬유분포가 2차원 및 3차원으로 임의적으로 분포된 경우에 대해, 유체의 전단흐름 및 방사흐름의 두 가지 유동 흐름에 따른 섬유방향성 분포변화를 유동거리에 따라 파악하였다. 해석결과에 따르면, 전단흐름의 경우, 유동거리가 증가함에 따라 섬유들이 점점 유동방향에 나란하게 배열되려는 경향을 보였으며, 방사흐름의 경우에는 유동방향에 수직하게 배열되려는 경향이 있음을 확인하였다. 그리고 유동에 따른 섬유방향성 분포변화를 고려한 초고성능 시멘트 복합체의 인장거동의 변화를 실험적으로 검증하였다. 유동에 따른 섬유방향성 분포 예측, 섬유 가교 거동 예측, 휨인장 실험에서의 인장거동 예측, 실험결과와의 비교를 순서대로 수행하였다. 비교결과에 따르면 해석결과가 실험결과와 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

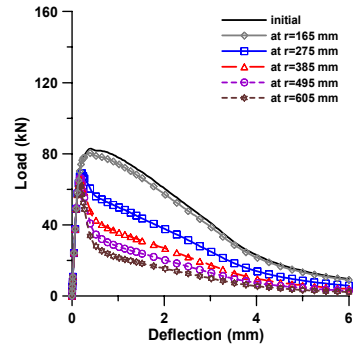


그림 2 유동에 따른 휨인장거동 예측

### 5. 결 론

본 연구에서는 초고성능 시멘트 복합체 내 강섬유의 방향성 분포 특성이 인장거동에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였으며, 유동에 따른 섬유 방향성 분포의 변화도 함께 고려하였다. 실험결과와의 비교를 통해 본 연구에서 제안한 해석적인 접근법이 유효함을 입증하였다.

#### 참고문헌

1. 강수태, 김윤용, 이방연, 김진근, “섬유의 방향성이 강섬유 보강 초고강도 콘크리트의 휨거동에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회 논문집, 20권, 6호, pp. 731-739, 2008.
2. Jeffery, G. B., “The Motion of Ellipsoidal Particles Immersed in a Viscous Fluid”, Proceeding of Royal Society of London A, Vol.102, pp. 161-179, 1922.