

# 타설방법에 따른 초고성능 콘크리트의 휨성능 평가

## The Evaluation of Flexural Performance in UHPC(Ultra High Performance Concrete) according to Placement Methods

류금성\*      강수태\*      박정준\*      안기홍\*      고경택\*\*      김성욱\*\*\*

Ryu, Gum Sung · Kang, Su Tae · Park, Jung Jun · Ahn, Ki Hong · Koh, Kyung Taek · Kim, Sung Wook

---

### ABSTRACT

UHPC which was a structural material exhibiting very remarkable mechanical performances with compressive strength, tensile strength and flexural strength rising up to 200MPa, 15MPa and 35MPa, respectively. In addition, this material presents exceptional durability regard to the very low diffusion and penetration speeds of noxious substances like chloride ions

This study was carry out to evaluate the effect of flexural behavior according to placement method in UHPC. The results is showing that the placement methods have remarkable influence flexural strength Addition to it is showing that the placement methods made little difference in the first cracking strength but considerable gap up to 2 or 3 times in the ultimate flexural strength.

### 요 약

초고성능 콘크리트(Ultra High Performance Concrete)는 압축강도 200MPa, 인장강도 15MPa 및 휨강도 35MPa 정도의 높은 강도 특성과 열화인자의 침투 및 확산 속도가 보통콘크리트에 비해 1/20에서 최대 1/10,000까지 낮은 고내구성을 나타내면서 동시에 슬럼프 플로우가 약 220mm 정도의 자기충전성 특성을 갖는 콘크리트이다. 또한 초고성능 콘크리트의 가장 큰 특징으로는 강섬유의 혼입함으로써 휨강도와 인성의 향상이다.

따라서 본 연구에서는 초고성능 콘크리트의 타설 방법에 따라 휨거동특성에 미치는 효과를 평가하였다. 그 결과 타설 방법에 따라 휨강도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 초기균열 강도에는 큰 영향을 미치지 않고 최대휨강도에는 2~3배 정도까지 차이를 발생시키는 것으로 나타났다.

---

\*정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 연구원

\*\*정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 책임연구원

\*\*\*정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 실장

## 1. 서 론

초고성능 콘크리트(Ultra High Performance Concrete, 이하 UHPC)는 구성재료를 미세화하고 시멘트를 포함한 결합재의 물리화학적 수화반응을 극대화하여 시멘트 매트릭스를 고강도화하며, 여기에 작은 직경 및 큰 길이/직경비(aspect ratio)를 지닌 섬유(fibers)를 혼입하여 균열응력에 저항하는 콘크리트이다. 이 콘크리트는 양생조건에 따라서 강도의 최대 범위가 800MPa까지 가능하나 유럽을 비롯한 기술 선진국에서 현재 실용화 단계에 있는 압축강도의 범위는 약 200MPa 수준이다. UHPC는 높은 압축강도의 시멘트 매트릭스 구조를 갖는 반면, 그 자체로는 높은 인장강도를 지니지 못하고 취성 파괴를 한다. UHPC에 섬유(fibers)를 첨가하면 압축강도와 더불어 인장강도를 증진시킬 수 있으며, 구조체의 파괴거동도 유사연성거동(pseudo-ductile behavior) 또는 연성거동(ductile behavior)이 가능하게 할 수 있다.

섬유보강 콘크리트에서 가장 중요한 장점은 인장강도의 증가와 인성의 향상이다. 이와 같은 역학적 특성의 향상은 응력의 방향에 맞게 섬유의 배열이 이루어짐으로써 효과를 극대화할 수 있으며, 연속된 긴 섬유를 사용하여 인위적으로 일정방향으로 배열한 경우가 이에 해당한다. 일반적인 섬유보강 콘크리트에서는 15 ~ 30 mm 길이의 단섬유를 사용하여 임의방향으로 골고루 분산되도록 하여 등방성을 가지도록 한다. 그러나 UHPC는 굵은골재를 사용하지 않고 높은 유동성을 가지므로 타설방향 또는 구조물의 형상에 의한 유동방향에 따라 섬유의 방향성 및 분산성이 다르게 나타날 수 있다.

따라서 본 연구에서는 타설 및 유동방향에 따른 섬유의 방향성이 휨인장강도에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

## 2. 타설 및 실험방법

### 2.1. 타설방법

본 연구에서는 초고성능 콘크리트의 타설 방법에 따라 강섬유의 방향성과 분산성을 파악하기 위해 500mm×500mm×100mm 크기의 직육면체 시험체를 제작하였고 100mm×100mm×500mm의 크기로 절단하여 휨인장강도를 측정하였다. 초고성능 콘크리트의 타설 방법으로는 길이방향과 직각방향으로 타설한 경우, 갈고리를 이용하여 인위적으로 길이방향으로 섬유를 배열한 경우 및 직육면체 시험체 중앙에서 타설하는 방법으로 시험체를 제작하여 휨인장강도 시험을 실시하였다. 그림 1은 시험체 제작 시 각각의 타설 방법으로 점선은 시험체 절단선을 나타내고 있다.

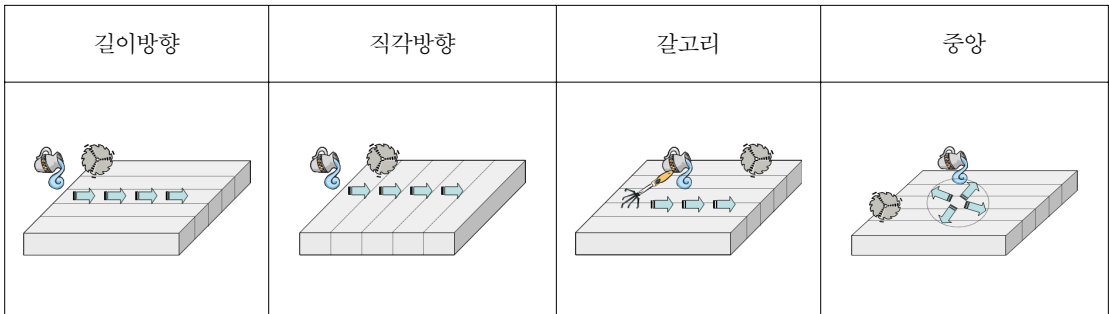


그림 1. UHPC 타설 방법 개념도

### 2.2 실험방법

본 연구에서 UHPC의 압축강도 시험은 변위제어 방법으로 50  $\mu\text{ε}/\text{sec}$ (0.3mm/sec)의 변위속도로 실시하였고, 탄성계수를 측정하기 위하여 재하방향으로 120°등간격으로 세 개의 LVDT를 설치하여 측정하

였다. 휨강도 실험은 타설방법에 따라 절단된 시험체 100×100×500mm 크기를 이용하였고 100×100×400mm의 폴드를 사용하여 제작된 시험체(Plain)과 비교 분석하였다. 휨 시험장치는 하중과 변위 조절이 가능한 20tonf 용량의 actuator를 사용하여 하중제하 방식은 변위조절 방식을 채택하여 가력속도를 분당 시편 지간(300 mm)의 1/1500으로 조절하여 시험을 실시하였으며 시험체의 처짐을 측정하기 위해서 10mm 용량의 LVDT를 사용하였다. 시험장치와 LVDT에서 발생하는 전기적인 신호를 얻기 위하여 데이터 로그와 컴퓨터를 이용해 각 채널 당 100Hz로 고정하여 데이터를 취득하였다.



그림 1. 압축강도 및 탄성계수 실험

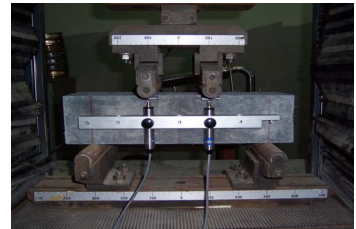


그림 2. 휨 거동 실험

### 3. 시험결과 및 고찰

압축강도 시험 결과를 살펴보면 평균 압축강도가 171.2MPa로 나타났고 이에 따른 탄성계수는 42~43 GPa 범위의 값을 나타냈다. 표 1은 압축강도 및 탄성계수 결과를 나타내고 있고 그림 3은 UHPC의 압축응력-변형을 관계 곡선을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 UHPC는 최대하중의 90~95%까지 거의 선형적으로 거동하는 것으로 나타났다.

그림 4~그림 7은 각 변수별 휨응력-변형을 관계 곡선을 나타내고 있고 표 2는 휨강도 시험 결과를 정리하여 나타내고 있다. 타설 방법을 달리한 경우 초기균열 발생시점과 초기균열 강도는 크게 차이가 나지 않은 반면 최대 휨강도의 경우에는 타설 방법에 따라 2~3 배 이상 차이가 나는 것으로 나타났다. 즉 초기균열강도는 주로 매트릭스의 강도에 따라 결정되지만 최대 휨강도의 경우는 매트릭스 내에 섬유가 인발되는 과정에서 섬유의 부착강도에 크게 영향을 받기 때문에 섬유의 방향성이 크게 작용한 것으로 판단된다. 또한 중앙에서 타설한 경우 끝단쪽으로 갈수록 휨강도가 크게 나타났고 중앙으로 올수록 휨강도는 다소 떨어지는 특징을 나타내고 있다. 이것 또한 UHPC의 유동방향이 섬유의 배열을 결정하는 것으로 판단된다. 따라서 UHPC를 타설할 경우 구조체의 특성에 따라 타설 방법을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

표 1. 압축강도 시험 결과

시험체 구분	양생 조건	섬유혼입률 (%)	최대하중 (tonf)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
No. 1	90°C, 3일 증기 양생	2%	137.1	171.3	42.8
No. 2			135.7	169.5	43.0
No. 3			138.0	172.4	42.4
No. 4			137.0	171.1	42.3
No. 5			137.3	171.5	43.4

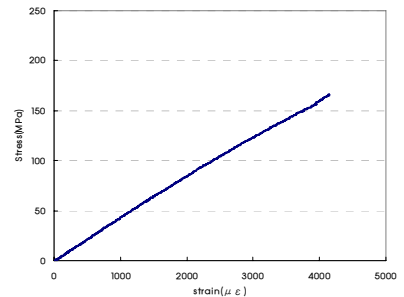


그림 3. UHPC의 압축응력-변형을 관계 곡선

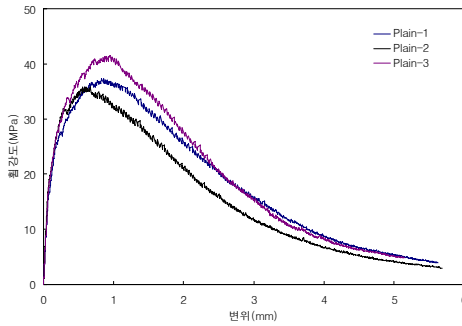


그림 4. Plain 휨강도

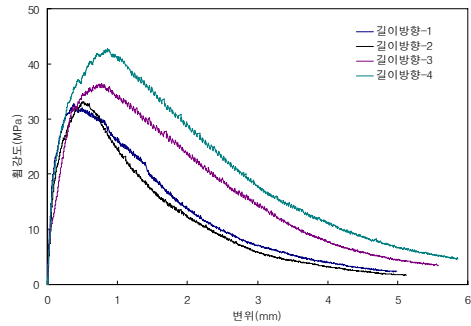


그림 4. 길이방향 휨강도

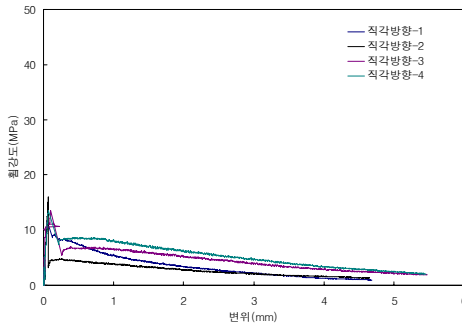


그림 5. 직각방향 휨강도

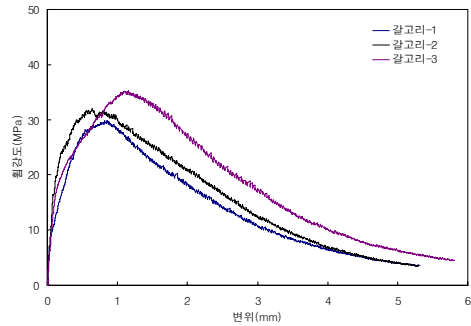


그림 6. 갈고리사용 휨강도

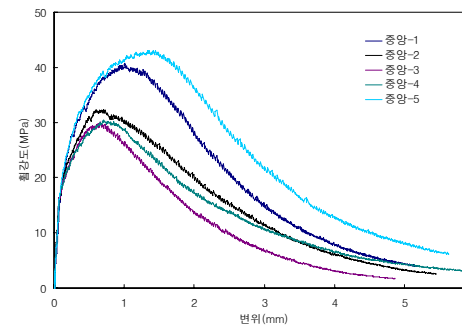


그림 7. 중앙타설 휨강도

표 2. 휨강도 시험 결과

시험체 구분	평균 휨강도 (MPa)	초기균열	
		변위 (mm)	강도 (MPa)
Plain	38.2	0.060	16.79
길이방향	36.2	0.062	17.04
직각방향	13.7	0.069	15.80
갈고리	32.32	0.084	16.43
중앙타설	35.34	0.075	15.95

#### 4. 결 론

UHPC의 타설 방법에 따른 압축강도 및 휨강도 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초고성능 콘크리트의 압축강도는 171.2 MPa, 탄성계수는 약 43 GPa로 나타났고 압축응력-변형률 곡선에서 보는 바와 같이 최대하중 90~95%까지 거의 선형적으로 거동하는 것으로 나타났다.
- (2) 초고성능 콘크리트의 타설 방법에 따른 휨강도 결과 2~3배 정도로 큰 차이를 보이므로 UHPC 설계시 구조체 특성에 따라 타설 방법을 고려해야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발, 2006. 12.
2. Su-Tae Kang(2008), “Fiber Alignment of Steel Fiber Reinforced High Strength Concrete (SFR-HSC) in Flexural Members and its Effect on the Flexural Strength”, 7th International Conference on FDM2008