

# 물결형 강섬유를 이용한 초고성능 콘크리트의 역학적 특성 평가

## The Evaluation of Mechanical Properties of Ultra High Performance Concrete with Using Steel Fiber of Wave Type

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

Ryu, Gum Sung · Koh, Kyung Taek · Kang, Su Tae · Park, Jung Jun · 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 steel fiber type in UHPC. The results is showing that the steel fiber type have remarkable influence flexural strength Addition to it is showing that steel fiber type made little difference in the first cracking strength but considerable gap in the ultimate flexural strength to use the steel fiber of wave type.

### 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 자기충진성 특성을 갖는 콘크리트이다. 또한 초고성능 콘크리트의 가장 큰 특징으로는 강섬유의 혼입함으로써 휨강도와 인성의 향상이다.

따라서 본 연구에서는 초고성능 콘크리트의 섬유 형상에 따라 휨거동특성에 미치는 효과를 평가하였다. 그 결과 섬유 형상에 따라 휨강도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 초기균열 강도에는 큰 영향을 미치지 않고 물결타입의 강섬유 사용으로 최대 휨강도가 높게 나타났다.

---

\*정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 연구원

\*\*정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 책임연구원

\*\*\*정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 실장

## 1. 서 론

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 15~30mm 길이의 단섬유를 사용하여 임의방향으로 골고루 분산되도록 하여 등방성을 가지도록 한다. UHPC는 직선형 고탄성용 강섬유를 사용하는 UHPC는 파괴시 섬유와 매트릭스와의 부착강도를 충분히 확보하지 못하고 뽑히는 경우가 대부분이므로 이런 현상을 개선시키기 위해 섬유의 길이를 증가시키거나 섬유의 형상을 주어 섬유와 매트릭스와의 부착성능을 향상시키는 방법 등이 있다. 따라서 본 연구에서는 초고성능 콘크리트의 높은 휨강도와 인성을 확보하기 위해 강섬유의 형상을 달리한 물결형 강섬유를 사용하여 휨강도 시험을 통해 부착성 향상 메커니즘을 분석하고자 하였다.

## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1. 사용재료

이 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며 반응성 분체는 실리카폼을 사용하였다. 이들의 물리·화학적 성질은 표 1.과 같다. 잔골재는 밀도 2.62g/cm<sup>3</sup>, 평균입경이 0.5mm이하의 모래를 사용하였고, 굵은 골재는 사용하지 않았다. 고성능 감수제는 폴리칼본산계의 고성능 감수제(밀도 1.01g/cm<sup>3</sup>, 암갈색)를 사용하였고 충전제는 입자들의 평균 크기가 30 $\mu$ m 이하로 구성된 재료를 사용하고 그 크기에 따라 5가지로 분류하여 하였으며 물리·화학적 성질은 표 2.과 같다. 강섬유는 인장강도 2,500MPa 이상,  $\phi$ 0.2×13mm의 원형모양의 강섬유를 사용하였고 물결형 강섬유는 원형강섬유와 기본 물성은 같으나 물결타입의 형상을 주어 콘크리트 체적비로 2%를 사용하였다. 초고성능 콘크리트의 특성 평가에 사용된 배합은 표 3.에 나타나고 있다.

표 1. 시멘트와 실리카폼의 물리·화학적 성질

구분	항목	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	Ig.loss (%)	화학적 구성(%)					
					SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
	OPC	3,413	3.15	1.40	21.01	6.40	3.12	61.33	3.02	2.3
	S.Fume	200,000	2.10	1.50	96.00	0.25	0.12	0.38	0.1	-

표 2. 충전제의 물리·화학적 성질

Item	Ig.loss (%)	Chemical Composition(%)				
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
filler	0.01	0.15	0.004	0.03	0.01	99.3

표 3. 배합표(질량비)

항목	W/B	시멘트	실리카폼	모래	충전재	고성능감수제	강섬유
상대비	0.2	1	0~0.3	1.1	0.3	0.018	Vf=2%

### 2.2 실험방법

본 연구에서 UHPC의 압축강도 시험은 변위제어 방법으로 50  $\mu$ s/sec(0.3mm/sec)의 변위속도로 실시하였고, 탄성계수를 측정하기 위하여 재하방향으로 120°등간격으로 세 개의 LVDT를 설치하여 측정하였다. 휨강도 실험은 타설방법에 따라 절단된 시험체 100×100×500mm 크기를 이용하였고

100×100×400mm의 물드를 사용하여 제작된 시험체(Plain)과 비교 분석하였다. 휨 시험장치는 하중과 변위 조절이 가능한 20tonf 용량의 actuator를 사용하여 하중재하 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

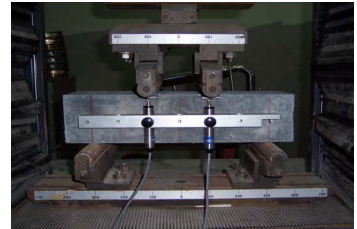


그림 2. 휨 거동 실험

### 3. 시험결과 및 고찰

압축강도 시험 결과를 살펴보면 직선형 강섬유를 사용한 경우 평균 압축강도가 181.1MPa로 탄성계수는 45~46 GPa 범위의 값을 나타내고 있고, 물결형 강섬유를 사용한 경우 평균 압축강도는 188.4MPa로 이때의 탄성계수는 45~46 GPa 범위를 나타내고 있다. 즉, 물결형 강섬유를 사용한 경우에 압축강도가 증가하는 경향을 나타내고 있으나 그 차이는 매우 경미하다. 그림 3은 UHPC의 압축응력-변형을 관계 곡선으로 UHPC는 최대하중의 90~95%까지 거의 선형적으로 거동하는 것으로 나타났다.

그림 4~그림 5은 섬유형상별 휨응력-변형을 관계 곡선을 나타내고 있고 표 2는 휨강도 시험 결과를 정리하여 나타내고 있다. 섬유형상별 휨강도 시험 결과 직선형 강섬유의 경우 최대 휨강도 38.7MPa과 등가휨강도 9.53MPa를 나타내고 있다 물결형 강섬유를 사용한 경우 최대 휨강도 41.1MPa과 등가휨강도 9.52MPa를 나타내고 있다. 시험결과를 분석해보면 물결형 강섬유를 사용한 경우에는 최대휨강도는 증가하였으나 등가휨강도에서는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 즉 최대휨강도 이후에 거동이 직선형 강섬유를 사용한 경우에 비해 급격히 파괴되는 경향을 나타내고 있다. 또한 물결형 강섬유를 사용한 경우 각각의 최대 휨강도의 편차가 직선형 강섬유를 사용한 경우보다 크게 나타났다. 이러한 이유는 배합시 섬유가 매트릭스 내에 골고루 분산되지 못했기 때문이다. 따라서 UHPC를 타설할 경우 물결형 강섬유 사용시 섬유 분산성에 각별히 주의해야 할 것으로 판단된다.

표 4. 압축강도 시험 결과

섬유 형상	양생 조건	섬유혼입률 (%)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
Straight type	90℃, 3일 중기 양생	2%	185.5	44.6
			171.5	45.0
			186.4	45.5
Wave type			193.3	46.0
			184.3	45.4
			187.7	45.1

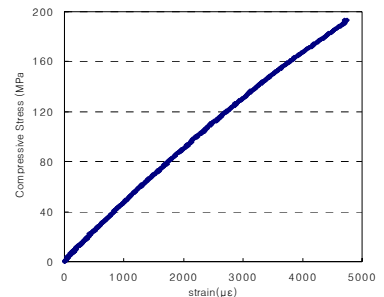


그림 3. UHPC의 압축응력-변형을 관계 곡선

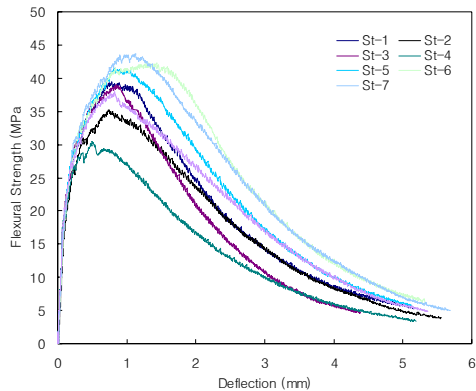


그림 4. 직선형 강섬유 사용 휨강도 시험결과

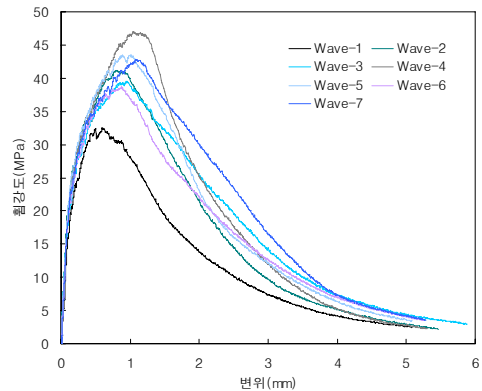


그림 5. 물결형 강섬유 사용 휨강도 시험결과

표 5. 휨강도 시험 결과

섬유 타입	휨강도 (MPa)	초기균열		등가 휨강도 (MPa)
		변위 (mm)	강도 (MPa)	
Straight Type	39.43	0.0755	17.412	9.59
	35.25	0.0925	17.256	8.62
	38.98	0.088	18.81	9.09
	30.51	0.077	18.63	7.13
	41.4	0.081	16.87	10.38
	42.3	0.09	18.18	10.97
	43.67	0.0745	17.89	11.09

표 6. 휨강도 시험 결과

섬유 타입	휨강도 (MPa)	초기균열		등가 휨강도 (MPa)
		변위 (mm)	강도 (MPa)	
Wave Type	32.52	0.0955	15.951	7.02
	41.25	0.0875	19.064	9.58
	39.61	0.0605	14.137	9.53
	47.04	0.085	17.378	10.84
	43.55	0.0955	20.839	10.25
	38.7	0.08	16.787	9.02
	42.87	0.0875	17.843	10.41

#### 4. 결 론

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

- (1) 직선형 강섬유를 사용한 경우 평균 압축강도가 181.1MPa로 탄성계수는 45 ~ 46 GPa 범위의 값을 나타내고 있고, 물결형 강섬유를 사용한 경우 평균 압축강도는 188.4MPa로 이때의 탄성계수는 45 ~ 46 GPa 범위를 나타내고 있다.
- (2) 물결형 강섬유를 사용한 경우에는 최대휨강도는 증가하였으나 등가휨강도에서는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 즉 최대휨강도 이후에 거동이 직선형 강섬유를 사용한 경우에 비해 급격히 파괴되는 경향을 나타내고 있어 배합시 섬유 분산성에 각별히 주의해야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발”, 2006. 12.
2. 한국건설기술연구원, “하이브리드 사장교용 초고성능 콘크리트 개발”, 2007. 12.
3. Namman, A. E, and Reinhardt, H. W.(2003), Setting the stage, toward performance based classification of FRC composites, High Performance Fiber Reinforced Cement Composites(HPFRCC 4), Proc. of the 4th Int. RILEM Workshop,