

초고강도 콘크리트의 재료역학적 특성 평가

An Evaluation of Mechanical Properties of Ultra High Strength Concrete(UHSC)

○ 임희재* 신성우** 안종문*** 이광수****
Lim, Hee Jae Shin, Sung Woo Ahn, Jong Mun Lee, Kwang Soo

ABSTRACT

The most important reason of using of ultra high strength concrete in super tall building is that ultra high strength concrete can reduce the section of members and control side sway effectively. However, the practical utilization of ultra high strength concrete is dependent not only on the production techniques, but also the overall preparation including proper code provisions, construction technique.

The purpose of this study is to evaluate of mechanical properties of UHSC, such as modulus of elasticity, stress-strain behavior, modulus of rupture and tensile splitting strength. It is similar to normal or high strength concrete but necessary to discern the difference between normal or high strength concrete and ultra high strength concrete and modify existed equations. And in this study another important factor is to discern the difference according to member size, curing method in ultra high strength concrete experimentally.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대 구조물은 인구과밀화 및 도시 집중화에 따른 초고층화, 대형화 그리고 특수화 경향을 보이고 있다. 따라서 이에 상응하는 구조재료의 성능 향상, 구조 및 설계 기술 개발, 시공능력 향상을 요구하고 있다. 가장 기본적인 구조재료인 콘크리트의 고강도화를 통해 부재단면의 축소로 인한 자원 절약과 경비절감의 경제적인 효과 이외에도 콘크리트의 프리캐스트화, 장시간 스펠 및 초고층화가 가능하다는 점 등 보통 강도 콘크리트에 비해 많은 구조적 장점이 입증됨에 따라 고강도화 및 초고강도 콘크리트를 이용한 구조물의 설계 및 해석기법, 시공기술 등에 대한 연구가 적극적으로 이루어지고 있다.

고강도 및 초고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트와는 다른 역학적 특성을 보여주고 있으므로 응력-변형률의 관계 및 제안 모델식을 통하여 기존 보통강도 콘크리트에 적용되던 기존 관계식 등의 비교평가를 실시함으로 실제 구조물에 적용할 수 있는 시스템이 구축되어야 할 것이다.

* 정회원. 한양대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 정회원. 한양대학교 공학대학 건축학부 교수, 공학박사

*** 정회원. 한양대학교 STRESS 연구조교수, 공학박사

**** 정회원. 여주대학 건축과 부교수, 공학박사

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 $f_{ck}=70\sim 100$ MPa 범위의 초고강도 콘크리트에 대한 재료역학실험과 기존에 수행된 국내·외의 실험 자료를 비교분석하여 초고강도 콘크리트의 응력-변형률의 관계 및 압축강도에 따른 탄성계수와 인장강도를 평가하고 재령별 강도 발현율, 양생 조건, 그리고 공시체의 크기 등에 따른 기본적인 역학적 특성을 평가하고자 한다.

2. 실험

초고강도 콘크리트의 강도특성 및 응력관계를 평가하기 위해 목표강도를 70~100 MPa로 정하여 다음 표 1과 같이 물-결합재비, 잔골재율, 실리카폼 대체율 등을 변화시켜 콘크리트를 배합하였다. 압축강도 측정용 공시체를 제작함에 있어 재령별 강도 평가뿐만 아니라 양생조건, 공시체의 크기에 따른 강도를 평가하기 위해 $\varnothing 10\times 20$ 와 $\varnothing 15\times 30$ 공시체를 제작하였다. 또한 인장강도를 평가하기 위해 휨강도 측정을 위한 $\varnothing 10\times 20$ 공시체 및 조깅 인장강도를 평가하기 위한 $15\times 15\times 55$ 공시체를 제작하였다.

표 1 초고강도 콘크리트 배합표

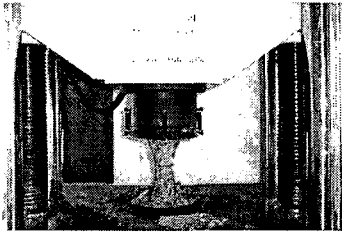
No.	W/B (%)	S/a (%)	단위 재료량 (kg/m ³)					
			W	C	S	G	S.F	SP(1.5%)
1	19	37	142.5	600	539.72	932.8	150(20%)	11.25
2	21	37	157.5	637.5	531.86	916.9	112.5(15%)	11.25
3	26	37	195	690	503.04	866.55	60(8%)	11.25
4	18	35	135	562	518.7	989.23	187.5(25%)	11.25
5	20	37	150	600	538.72	941.976	150(20%)	11.25
6	18	35	133.2	555	524.08	973.22	185(25%)	11.10

3. 실험 결과 및 분석

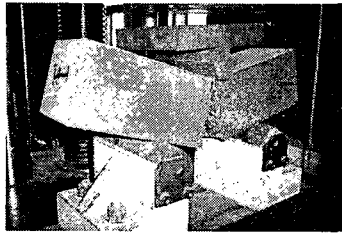
초고강도 콘크리트의 압축강도 실험에 있어서 재령, 양생조건, 공시체 크기에 따른 압축강도 및 인장강도 시험결과가 표 2와 그림 2에 나타나 있다.

표 2 콘크리트 배합별 강도시험 결과

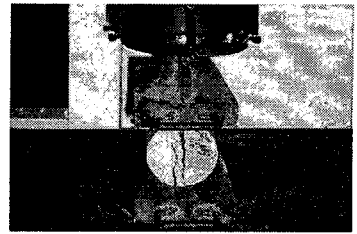
No.	양생 조건	압축강도 (MPa)								인장강도 (MPa)					
		$\varnothing 10\times 20$ cm				$\varnothing 15\times 30$ cm				휨강도			조깅 인장강도		
		3일	7일	28일	56일	7일	28일	56일	7일	28일	56일	7일	28일	56일	
1	기중	53.6	69.3	74	80.7	67.3	80.1	85.7	4.3	5.2	5	4.9	4.8	5.6	
	수중	51.6	64.6	73.8	83										
2	기중	52.4	65.8	74.5	81.6				5.1	5.4	5	5.1	5	5	
	수중	51.2	61.8	73.5	79				4.7	4.3	4.5	4.4	4.2	4.9	
4	기중	58.6	67.8	81.8		67.3	79.4		6	5.6		7.4	6.8		
	수중	61.9	66.9	77.4											
5	기중	50.8	64.1	74					5.9	5.4		4.7	3.5		
	수중	69.5	81.7	91.2		73.7	81.6		4.8	6.9		5.1	5.5		
6	기중	68	79.3	96.5											
	수중	68	79.3	96.5											



(a) 압축강도 시험



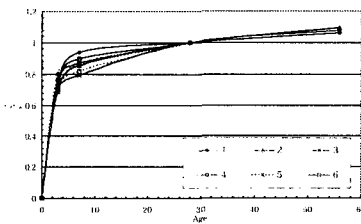
(b) 휨강도 시험



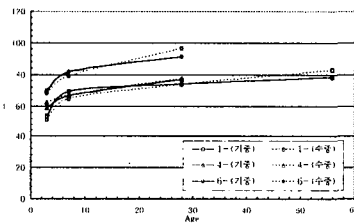
(c) 쪼갬 인장강도 시험

그림 1. 강도 시험

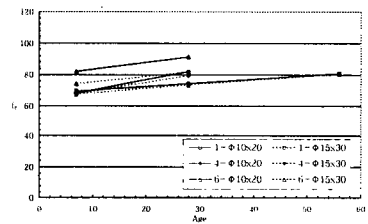
압축강도 시험 결과 재령에 따라 3일 압축강도는 28일 압축강도의 68~76% 발현을 하고 7일 압축강도는 28일 압축강도의 80~90%를, 56일 강도는 28일 강도의 106~112% 발현하는 것을 알 수 있다. 양생조건에 따른 압축강도의 경우 실험 결과에 다소 편차가 있지만 보통강도 콘크리트와 같이 수중양생이 기중양생보다 높은 압축강도를 나타내는 경향이 있다. 공시체의 크기에 따라서는 $\phi 10 \times 20$ 의 압축강도가 $\phi 15 \times 30$ 에 비해서 평균적으로 4% 정도 큰 값을 갖는 것으로 나타났다.



(a) 재령별 압축강도 발현비



(b) 양생조건별 압축강도



(c) 크기에 따른 압축강도

그림 2. 압축강도 실험 결과

초고강도 콘크리트의 압축강도 실험으로부터 대표적인 응력-변형률 곡선은 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서와 같이 초고강도 콘크리트의 응력-변형률 곡선의 상향곡선부분은 직선에 가깝게 상승하는 것을 알 수 있고 이러한 응력-변형률 곡선으로부터 구한 탄성계수와 기존 실험에서 얻은 탄성계수의 분포는 그림 4와 같다.

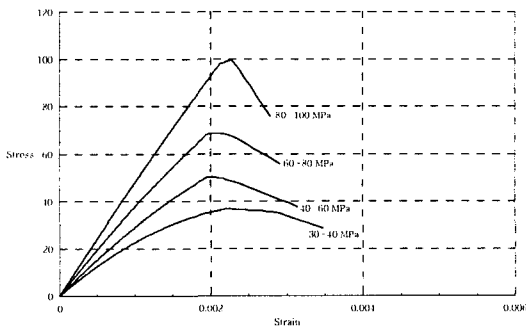


그림 3. 응력-변형률 곡선

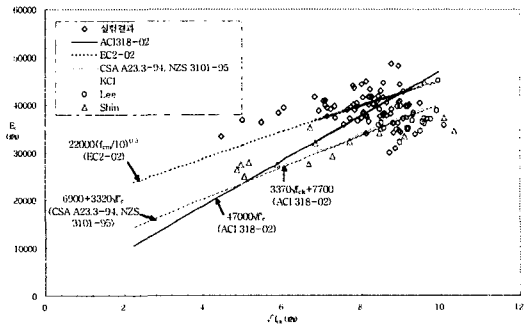


그림 4. 탄성계수 분포

보통 측정방법에 따라 차이는 있지만 이들의 범위는 31,000~48,000 MPa로 대부분 해당범위에 분포하

고 있으며, 각 표준과 비교해 보면 Carrasquillo, Nilson, Slate의 제안을 토대로 한 CSA A23.3-94, NZS 3101-95이 ACI 318-02보다 초고강도 콘크리트의 탄성계수를 정확히 예측하고 있음을 알 수 있다.

압축강도에 대한 휨강도의 비율은 5~9% 정도로 평가되었고 재령이 증가할수록, 압축강도가 높아질수록 상대적으로 휨강도의 비는 낮아지는 추세이다. 그리고 평균 압축강도를 기본으로 평균 인장강도를 산정하는 EC2-02가 설계기준강도로부터 휨강도를 산정하는 다른 표준에 비해 정확한 값을 보여주고 있다. 압축강도에 대한 조깅 인장강도의 비율은 6~7%로써 보통강도 콘크리트보다 다소 작은 값을 보이고 그림 6과 같이 압축강도의 제곱근에 비례하는 것으로 나타났으며, 또한 ACI 318-02와 KCI에서 예측하는 값보다는 다소 큰 값을 나타내었다.

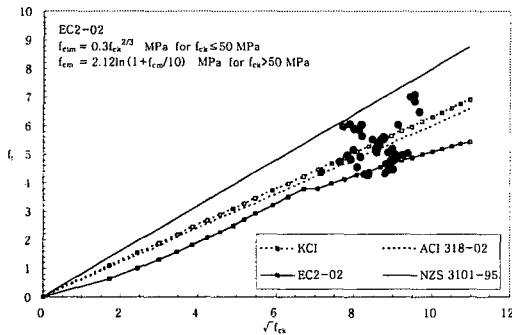


그림 5. 휨인장강도

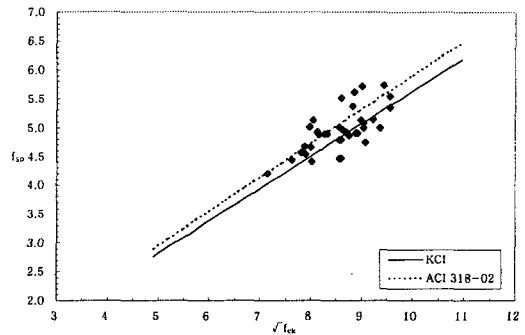


그림 6. 활렬인장강도

4. 결론

(1) 초고강도 콘크리트에 있어서 28일 압축강도에 비하여 3일 압축강도는 68~76%, 7일 강도는 80~90%, 56일 강도는 106~112% 발현하는 것으로 나타났고, Ø10×20의 압축강도가 Ø15×30에 비해서 평균적으로 4%정도 큰 값을 갖는 것으로 나타났다.

(2) 초고강도 콘크리트의 응력-변형률 곡선의 상향곡선부분은 직선에 가깝게 상승하는 것을 알 수 있고 파괴점에서 변형량의 증가 없이 급격히 파괴되는 것으로 나타났다.

(3) CSA A23.3-94, NZS 3101-95 표준이 ACI 318-02보다 초고강도 콘크리트의 탄성계수를 정확히 예측하고 있음을 알 수 있다.

(4) 압축강도에 대한 휨강도의 비율은 5~9% 정도로 평가되었고 EC2-02가 다른 표준에 비해 정확한 값을 보여주고 있다.

(5) 압축강도에 대한 조깅 인장강도의 비율은 6~7%로써 보통강도 콘크리트보다 다소 작은 값을 보이고, ACI 318-02와 KCI에서 예측하는 값보다는 다소 큰 값을 나타내었다.

참고문헌

1. Patrick Paultre and Denis Mitchell, "Code Provisions for high-strength Concrete- an International Perspective.", Concrete International, 2003. 5, pp.76-90
2. 오정근, 안상경, "고강도 콘크리트의 역학 특성 및 구조설계", 고강도 콘크리트 제조/설계/시공 기술, 콘크리트학회 2003년도 제 3회 기술강좌, pp.73-76.