

실험결과와 예측식을 통한 고강도 고성능 콘크리트의 크리프 및 건조수축 특성파악

Creep and shrinkage properties using concrete test results and prediction models for high strength and high performance concrete

차 한 일* 문 형 재** 석 원 균*** 박 순 전**** 이 주 호*****
Cha, Han il Moon, hyung Jae Seok, Won Kyun Park, Soon Jeon Lee, Joo Ho

ABSTRACT

RC super tall buildings are planned and constructed recently in domestic area. Concrete is characterized by time dependant material such as creep and shrinkage. For this properties of concrete, differential shortening is one of the main issues on super tall buildings construction.

This study includes material research, which is performing as a pre design stage to solve differential shortening on Lotte Super Tower Jamsil core structure(50, 60, & 70 MPa). The major part of this study is composed with comparison and analysis between experimental data and predicted data on total shrinkage and total compliance which were used on design stage. Four models, ACI209R Model, Bažant-Baweja B3 Model, CEB MC99 Model, & GL2000 Model, were employed to predict them. It also tries to seek a proper model for high strength and high performance concrete in the case of no concrete test.

요 약

최근 국내에서는 철근콘크리트 초고층 건물이 계획 또는 시공 중에 있다. 콘크리트가 가지는 시간의존적인 재료특성인 크리프 및 건조수축 특성파악이 초고층 건물 시공에서 이슈화 되고 있는 부등축소량 해결의 출발점이 되고 있다.

본 연구는 잠실 제2롯데월드의 부등축소량 해결을 위한 사전단계인 재료연구를 포함하고 있으며 당사 프로젝트 코어부 콘크리트 배합 50, 60, 70MPa에 대한 재료연구의 첫 번째 단계로 진행 중인 콘크리트 테스트 프로그램의 결과 값과 예측 모델식에 의한 결과 값을 전체 건조수축 변형과 단위 응력당 전체 크리프 변형(Compliance)에 근거한 분석이 이루어졌으며 사용된 예측 모델식은 ACI209R Model, Bažant-Baweja B3 Model, CEB MC99 Model, 및 GL2000 Model등과 같다. 그리고 사전설계 단계에서 재료실험 없이 콘크리트의 크리프 및 건조수축 특성을 간단히 파악하는 데 도움이 될 수 있도록 고성능 고강도 콘크리트에 대한 적절한 예측 모델식을 제안하고자 하였다.

- * 정회원, 롯데건설(주) 기술연구원, 선임연구원
- ** 정회원, 롯데건설(주) 기술연구원, 연구원
- *** 정회원, 롯데건설(주) 기술연구원, 책임연구원, 건축구조기술사
- **** 정회원, 롯데건설(주) 기술연구원, 수석연구원, 건축구조기술사
- ***** 정회원, 롯데건설(주) 기술연구원 기술연구 팀장, 토목구조기술사

1. 서 론

최근 국내에서는 초고층 건물이 다수 계획되고 있고 일부는 시공 중에 있으며 구조형식으로 철근 콘크리트 구조형식을 선택하고 있다. 이런 이유로 인해 하중과 시간의 함수로 표현될 수 있는 콘크리트의 재료특성은 초고층 건물의 구조적 안정성 및 사용성 확보에 주요한 요소가 되고 있다.

초고층 건물 시공 시 발생하는 부등축소량 문제 해결의 첫 번째 단계는 크리프 및 건조수축에 관한 재료연구이다. 본 연구를 위해 168개의 원형공시체($\phi 150 \times 300\text{mm}$)를 국내 S사 실험실에서 제작, 포장, 및 운송작업을 2007년 3월에 완료하여 현재 미국 CTL사에서 ASTM C512 Standard Test Method for Creep in Compression에 준하여 실험이 진행되고 있다.

본 연구는 실제 초고층 건물 설계에 사용되어 지는 전체 건조수축 변형과 단위 응력당 전체 크리프 변형(Compliance)에 대한 두 항목에 대해서 네 가지 예측 모델식에 의한 결과와 실제 테스트 결과 값을 각 강도별(50, 60, 70MPa)로 하중재령(7 days)에 따라 서로 비교 분석한 내용을 포함하고 있다. 본 연구를 위해 사용된 예측 모델식은 ACI209R Model, Bažant-Baweja B3 Model, CEB MC99 Model, 및 GL2000 Model등과 같다. 위와 같이 초고층 건물의 콘크리트 재료특성 파악은 실제 사용될 콘크리트에 대한 재료실험을 통해 파악할 수 있지만 재료실험이 사전설계에 충분히 고려되어 최소 6개월간의 실험이 이루어져야 하는 제약사항이 있기 때문에 재료실험 없이 단기간에 콘크리트 재료특성 파악에 도움이 될 수 있도록 본 연구를 통해 고성능 고강도 콘크리트에 대한 적절한 예측 모델식을 제안하고자 하였다.

2. 예측 모델식에 사용된 콘크리트 특성 및 배합

2.1 예측 콘크리트 특성(Estimated concrete properties)

콘크리트의 크리프 및 건조수축 특성 파악을 위해 사용된 콘크리트 특성은 다음 표에 정리하였다. 표1에 나타나 있는 바와 같이 GL 2000 Model식을 위한 평균 28일 강도와 평균 28일 탄성계수 산정식은 기타 모델식과는 다른 산정식을 사용하였고 CEB MC99 Model식의 경우 강도상수(Strength constant)를 강도별로 동일하게 10MPa를 적용하였다.

표1. 예측 콘크리트 특성

구 분		예측값(MPa)			비고
		50MPa	60MPa	70MPa	
Mean 28-day strength	f_{cm28}	59.8(60)	70.8(71)	81.8(82)	$1.1f'c+4.8$ ($1.1f'c+5.0$ for GL 2000 Model)
Strength constant	f_{cm0}	10	10	10	CEB MC99 Model
Mean 28-day elastic modulus	E_{cm28}	36678.4 (36807.7)	39906.9 (39732.4)	42898.0 (42438.2)	$0.043 \times \gamma_c^{2.3} f_{cm28}^{1/2}$ ($3500+4300f_{cm28}^{1/2}$ for GL 2000 Model)

2.2 예측 콘크리트 배합(Estimated concrete mixture)

콘크리트의 크리프 및 건조수축 특성 파악을 위해 사용된 콘크리트 배합은 다음 표2에 정리하였다.

표2. 예측 콘크리트 배합

구 분		예측값(MPa)		
		50MPa	60MPa	70MPa
Cement type		I		
Maximum aggregate		20mm		
Cement content	c	492kg/m ³		
Water content	w	160kg/m ³		
Water-cement ratio	w/c	0.325		
Aggregate-cement ratio	a/c	1.57		
Fine aggregate percentage	ψ	46		
Air content	α	3		
Slump	s	250mm		
Unit weight of concrete	γ _c	2300kg/m ³		

3. 결과 및 고찰

앞서 서론에 언급한 바와 같이 전체 건조수축 변형(Shrinkage strains, γ_{sh})과 단위 응력당 전체 크리프 변형(Compliance, $J(t, t_0)$)을 실험에 의한 결과값과 예측 모델식에 의한 결과값을 서로 비교 분석하였다.

3.1 결과 비교분석(C50 & 7 days)

설계기준강도($f'c$) 50MPa와 하중재령 7일에 대한 비교분석 결과를 다음 그림에 나타내었다.

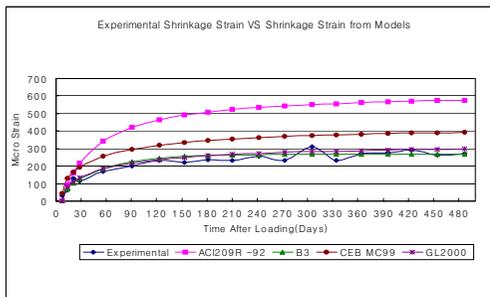


그림 1 Shrinkage Strains

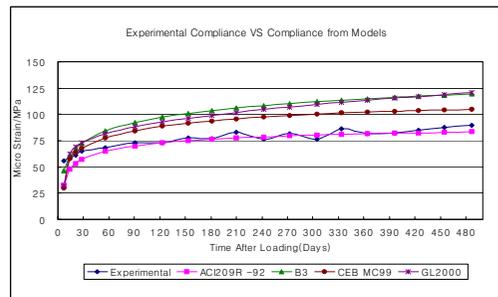


그림 2 Compliance

3.2 결과 비교분석(C60 & 7 days)

설계기준강도($f'c$) 60MPa와 하중재령 7일에 대한 비교분석 결과를 다음 그림에 나타내었다.

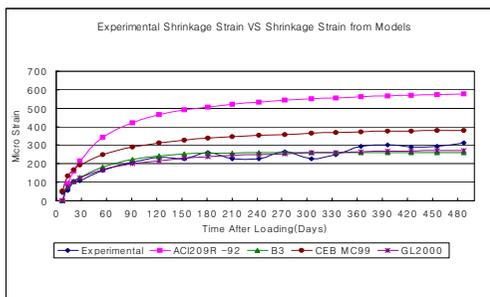


그림 3 Shrinkage Strains

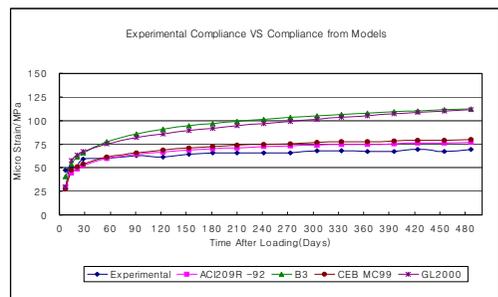


그림 4 Compliance

3.3 결과 비교분석(C70 & 7 days)

설계기준강도($f'c$) 70MPa와 하중재령 7일에 대한 비교분석 결과를 다음 그림에 나타내었다.

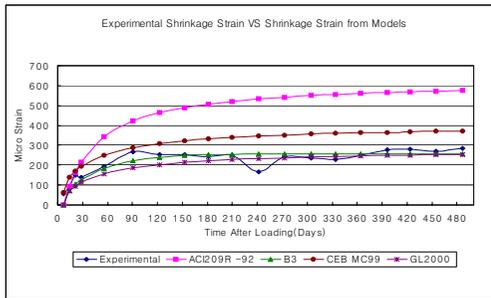


그림 5 Shrinkage Strains

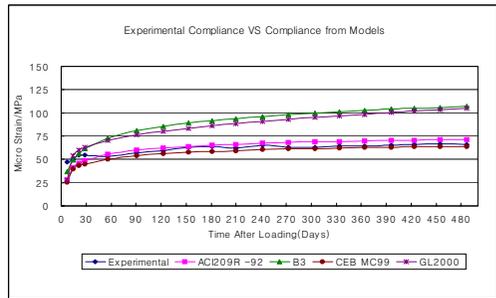


그림 6 Compliance

4. 결론

C50, C60, C70MPa 강도별로 하중재령일 7일에 대한 재료실험 결과와 예측 모델식에 의한 결과값을 서로 비교 분석하여 그 결과를 다음과 같이 기술하였다. 또한 결과값에 근거하여 표3에 강도별로 적절한 예측 모델식을 제안하였다.

1) C50 강도의 경우 B3 Model과 GL 2000 Model식이 재료실험에 의한 전체 건조수축 변형과 가장 근접한 결과를 나타내고 있으며 단위 응력당 크리프 변형의 경우 ACI 209R Model식이 실험값과 거의 일치하고 있다는 것을 알 수 있었다.

2) C60 강도의 경우 B3 Model과 GL 2000 Model식이 재료실험에 의한 전체 건조수축 변형과 근접한 결과를 나타내고 있으며 단위 응력당 크리프 변형의 경우 ACI 209R Model식이 실험값과 거의 일치하고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 CEB MC99 Model 실험결과와 유사하게 나타났다.

3) C70 강도의 경우 C60 경우와 마찬가지로 B3 Model과 GL 2000 Model식이 재료실험에 의한 전체 건조수축 변형과 가장 근접한 결과를 나타내고 있고 단위 응력당 크리프 변형의 경우 ACI 209R Model식과 CEB MC99 Model에 의한 결과값이 실험값과 거의 일치하고 있다는 것을 알 수 있었다.

표3. 강도별 제안된 예측 모델식

강도	제안된 예측 모델식	
	Shrinkage Strains	Compliance
C50	B3 Model & GL 2000 Model	ACI 209R Model
C60		ACI 209R Model & CEB MC99
C70		

참고문헌

1. ACI Committee 209, Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete, American Concrete Institute.
2. Bradley D. Townsend, "Creep and Shrinkage of a High Strength Concrete Mixture", MS Thesis Submitted to Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2003
3. Hanil Cha, Concrete Test for Creep and Shrinkage Properties on High Strength Concrete, KCI 2008.