

100MPa급 이상의 초고강도 콘크리트의 자기수축 특성에 관한 연구

A Study on Properties of Ultra High Strength Concrete of above 100MPa

이 상 호* 김 우 재** 노 현 승*** 이 재 삼**** 이 한 승*****
Lee, Sang Ho Kim, U Jae No, Hyeon Seung Lee, Jae Sam Lee, Han Seung

ABSTRACT

The autogenous shrinkage of HPC is important in that it can lead the early cracks in concrete structures. The purpose of the present study is to explore the autogenous shrinkage of HPC with cellulose fiber and expansive additive and to derive a realistic equation to estimate the autogenous shrinkage model of that. For this purpose, comprehensive experimental program has been set up to observe the autogenous shrinkage for various test series. Major test variables were the quantity of expansive additive and cellulose fiber. Water-cement ratio is fixed with 13%. The autogenous shrinkage of HPC is found to decrease with increasing expansive additive and cellulose fiber. A prediction equation to estimate the autogenous shrinkage of HPC was derived and proposed in this study. The proposed equation shows reasonably good correlation with test data on autogenous shrinkage of HPC.

요 약

최근 초고강도와 고유동성을 가진 고성능 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 사용 실적도 점차 증가하는 추세에 있다. 그러나 고성능 콘크리트의 경우에는 수화열 이외에 자기수축으로 인해 균열이 발생하는 경우가 있어 고성능 콘크리트의 균열제어 및 설계에서 자기수축 변형을 반드시 고려해야 한다. 이에 따라, 본 연구에서는 셀룰로스 칩 화이버 및 팽창재를 혼입한 고성능 콘크리트의 자기수축 특성에 대한 실험 연구를 통해 자기수축 예측모델을 제안하고자 한다. 주요 실험변수는 팽창재 및 셀룰로스 칩 혼입률로 설정하였으며 물-시멘트 비는 13%로 고정하였다. 콘크리트의 유동성, 압축강도 및 자기수축 실험을 수행하였으며 팽창재 및 셀룰로스 칩 화이버의 혼입량이 클수록 고성능 콘크리트의 자기수축 길이변화율이 감소하는 경향을 보였다.

* 정회원, 한양대학교, 첨단재료시공연구실, 석사과정
** 정회원, (주)포스코건설
*** 정회원, 한일시멘트, (주)중앙연구소
**** 정회원, (주)렉스콘
***** 정회원, 한양대학교, 건축공학과, 부교수

1. 서 론

최근 건축구조물이 초고층화, 대형화 되어감에따라 150MPa급 이상의 초고강도 콘크리트의 사용 실적이 차츰 증가하면서 요구되는 품질 또한 높아지고 있다. 이러한 고성능 콘크리트의 실제 사용이 증가하면서 초기 균열의 원인 중의 하나인 자기수축에 대한 인식이 재고되기 시작하였다. 자기수축으로 인해 발생한 균열은 외부로부터 유해한 물질의 이동 경로를 제공하여 콘크리트 구조물의 내구 성능을 저하시켜 구조물의 사용 수명이 단축된다. 따라서 고성능 콘크리트를 보다 많은 구조물에 안정적으로 적용하기 위해서는 설계과정을 통해 균열 제어 측면에서 자기수축에 의한 변형을 고려할 필요성이 제기된다. 근래에 들어서 자기수축량을 예측하는 기술은 기존의 논문에서 많이 연구되었지만 오늘날 주로 사용되는 150MPa 초고강도 콘크리트에는 기존의 예측식을 적용하지 못하고 있다. 본 논문에서는 자기수축 저감을 목적으로 팽창제 및 셀룰로스 칩 화이버를 사용하여 150 MPa 초고강도 콘크리트에 대한 자기수축 실험을 수행하였다. 이를 통해 자기수축 특성을 검토하고 이를 예측 할 수 있는 새로운 모델식을 제안하고자 하였다.

2. 실험 계획 및 사용재료

2.1 실험 계획

자기수축 시험은 KS F 2586 규정에 의거하여 그림 1, 2와 같이 데이터 로거로 매립형 게이지를 이용하여 30일간 측정하였다. 실험요인 및 수준은 표 1과 같으며 혼입되는 팽창제의 양은 시멘트와 치환하였다. 시험체는 양생온도 20±2℃, 실내습도 60%인 항온항습실에서 양생하였다. 배합사항은 표 2와 같고, 실험 결과는 표 4와 같다.



그림 1 매립형 게이지 설치



그림 2 양생

표 1 실험요인 및 수준

실험 요인		실험 수준
배합 사항	W / B (%)	13
	목표 슬럼프 플로우	700±50
	목표 공기량	1% 내외
	팽창제 혼입률 (kg/m ³)	0, 10, 20
실험 사항	셀룰로스 칩 화이버 (%)	0, 1, 2
	굳지 않은 콘크리트	슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 응결시간
	경화 콘크리트	압축강도 (3, 7, 14, 28), 자기수축 (30일간)

표 2 배합 사항

목표 강도 (MPa)	W/B (%)	s/a (%)	AD (%)	단위 재료량 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	AD
150	13	30	3	150	1154	341	836	34.62

2.2 사용 재료

본 연구의 사용 재료로써 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트에 실리카흙(중국산), 고로슬래그(국내산), 국내 H사의 초고강도용 혼화제를 첨가한 혼합시멘트를 사용하였으며 사용된 고성능 AE 감수제의 물성은 표 3과 같다.

표 3 고성능 AE감수제

구분	주성분	밀도 (g/cm ³)	색상	형태
표준형	폴리카arbon산계	1.05	연갈색	액상

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축 강도 특성

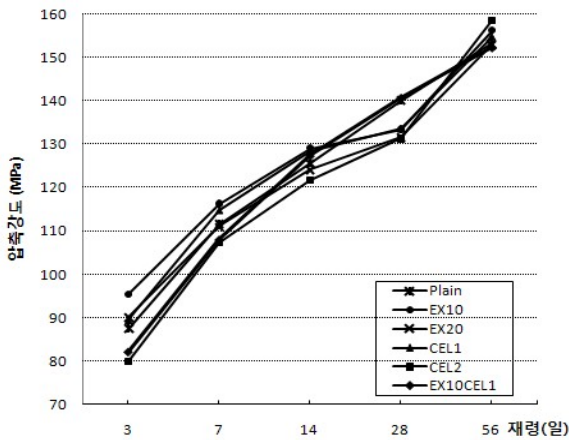


그림3

그림 3은 팽창재 및 셀룰로스 섬유 혼입물에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. Plain 콘크리트와 비교하여 팽창재 및 셀룰로스 섬유의 혼입량이 증가할수록 약 4%의 압축강도 증가가 나타나고 있으며 혼입률이 증가할수록 경미하게 압축강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 셀룰로스 섬유를 혼입한 콘크리트는 압축강도가 재령28일 이후에 급격히 증가하는 것으로 보아 이는 흡수력이 탁월한 셀룰로스 섬유가 초기재령에서 자유수를 어느 정도 확보한 후 일정재령에서 수분의 재분배가 이루어져 시멘트 수화반응이 증가되는 것으로 판단된다.

표 4 실험 결과

실험체명	굳지 않은 상태					경화 상태				
	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	플로우 (mm)	응결시간 (시간:분)		압축강도 (MPa)				
				초결	종결	3	7	14	28	56
plain	1.3	11	650	11 : 12	20 : 56	87.35	111.53	125.50	140.02	153.19
EX10	1.2	7.5	720	10 : 20	20	95.40	116.23	129.07	133.41	156.16
EX20	1.4	10	675	8 : 18	18 : 48	90	111	124.13	131.63	153.00
CEL1	1.7	10	690	10 : 50	22 : 10	89.45	114.77	128.40	133.54	154.79
CEL2	1.8	14	660	8 : 16	21 : 6	79.93	107.30	121.63	131.29	158.47
EX10CEL1	1.7	14	665	8 : 20	19 : 19	82	107.90	127.30	140.71	152.33

3.2 자기수축 특성

그림 4는 팽창재 및 셀룰로스 섬유 혼입물에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 재령 30일에서 자기수축은 417×10^{-6} 으로 나타났는데, 팽창재 혼입률 증가에 따라 자기수축 길이변화율은 현저하게 감소하였는데 혼입률 10kg/m³ 및 20kg/m³에서 각각 21% 및 85% 저감하는 것으로 나타났다. 이처럼 팽창재를 혼입함으로써 자기수축이 감소하는 것은 자기수축이 발생하는 시기에 팽창성 물질인 에트링가이트 및 수산화칼슘을 생성하여 수축을 보상하기 때문으로 사료된다. 또한 셀룰로스 칩 화이버 혼입률 1kg/m³ 및 2kg/m³에 따른 자기수축 저감률은 무혼입 콘크리트에 비해 각각 27%, 47%로 섬유 혼입률 증가에 따라 자기수축 저감효과가 높아지는 것을 알 수 있다. 그림 4의 CEL1, CEL2 그래프를 보면 재령 1일 이후로 시험체의 길이가 수축하다가 재령 3일에 다시 팽창하는 것을 볼 수 있다.

이는 흡수력이 탁월한 셀룰로스 섬유가 초기재령에서 자유수를 어느 정도 확보한 후 일정재령에서 수분의 재분배가 이루어져 자기수축이 저감되는 것으로 판단된다. 이러한 자기수축 메커니즘을 좀 더 자세히 규명하기 위해서 추후 MIP, XRD등을 이용한 미세분석 실험이 요구 되어진다. 그림 5는 기존의 Tazawa의 자기수축 예측모델을 수정하여 팽창재 및 셀룰로스 칩 화이버를 혼입한 초고강도 콘크리트 경우의 새로운 자기수축 예측식에 따른 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

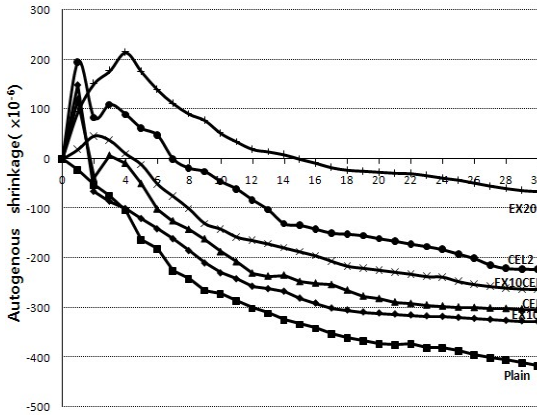


그림 4 자기수축 실험치

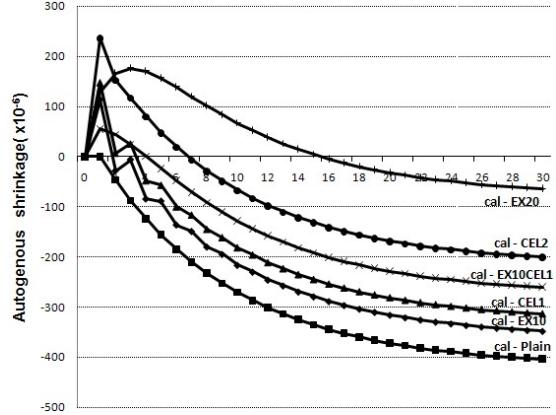


그림 5 자기수축 모델식 예측식

본 논문에서는 팽창재 및 셀룰로스 칩 화이버를 혼입한 경우 초 고강도 콘크리트의 자기수축을 예측하기 위해 식(1)과 같이 기존의 Tazawa 모델식을 수정 보완한 새로운 예측식을 제안 하였다.

$$\varepsilon_c(t) = k_0[1 - e^{-a(t-t_0)^b}] + p_1 \times (p_2)^t + p_3 \quad (1)$$

k_0 , a , b : 실험상수

t_0 : 초결시점(day)

t : 재령 (day)

p_1, p_2, p_3 : 셀룰로스 및 팽창재 종류의 영향계수

표 5 수정 제안된 Tazawa 모델 계수

	Plain	EX10	EX20	CEL1	CEL2	EX10CEL1
p_1	-	-85.81	-348.98	-92.30	-202.74	-148.20
p_2	-	-0.67	0.60	-0.62	-0.16	0.60
p_3	-	56.24	340.91	90.18	204.16	143.76
k_0	-419.49					
a	0.12					
b	0.99					

4. 결론

(1) 팽창재 및 셀룰로스 섬유의 혼입률이 증가할수록 Plain 콘크리트에 비해 약 4%의 압축강도 증가를 보였고, 콘크리트의 자기수축 길이변화율은 현저히 감소하는 것을 확인하였다. 셀룰로스 섬유를 혼입한 콘크리트의 경우 일정재령 후에 압축강도가 급격히 증가하는 것으로 보아 섬유로 인한 수분의 재분배가 이루어져 시멘트 수화반응이 증가되고 자기수축 저감에도 영향을 주는 것으로 판단된다.

(2) 팽창재 및 셀룰로스 섬유를 혼입한 초고강도 콘크리트의 자기수축량을 예측하기 위해 Tazawa 모델을 수정한 새로운 모델을 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원(과제번호:R11-2005-056-04003)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 유성원, 소양섭, 조민정 “고성능 콘크리트의 자기수축 예측모델에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 제10권 제3호, 2006.5