

수축저감재료의 영향을 고려한 고성능 콘크리트의 자기수축 예측 모델

Prediction Model on Autogenous Shrinkage of High Performance Concrete Used Material for Shrinkage Reduction

고 경 택* 강 수 태** 유 성 원*** 김 도 겸**** 한 천 구***** 이 장 화*****
Koh, Kyoung-Taek Kang, Su-Tae Yoo, Sung-Won Kim, Do-Gyeong Han, Cheon-Goo Lee, Jang-Hwa

ABSTRACT

Generally, the autogenous shrinkage of high performance concrete is important in that it can lead the early cracks in concrete structures. In the previous study, The autogenous shrinkage of HPC was found to decrease with increasing expansive additive and shrinkage reduction agent. In case of combined use, the autogenous shrinkage was more reduction than in case separate use. The purpose of this study is to derive a realistic equation to estimate the autogenous shrinkage model of high performance concrete with expansive agent and shrinkage reduction agent. investigated the durability of high performance concrete using expansive additive and shrinkage reducing agent. The proposed equation showed reasonably good correlation with test data on autogenous shrinkage of high performance concrete with material for shrinkage reduction.

1. 서 론

고성능 콘크리트는 자기수축이 매우 크게 나타나, 경우에 따라서 자기수축만으로 균열이 발생하는 경우가 있어 균열제어 및 설계에서 자기수축 변형을 고려할 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 그러나, 현재까지 국내에서는 고성능 콘크리트의 자기수축에 대한 연구가 충분히 이루어지지 못하고 있으며 이에 따라 실제 구조물 설계 및 시공시 이를 반영하지 못하고 있다. 한편, 저자들은 선행연구에서 고성능 콘크리트의 수축을 저감시키고자 팽창재와 수축저감제의 사용을 검토한 결과, 팽창재와 수축저감제를 조합하여 사용하는 방법이 단독으로 사용하는 방법보다는 수축저감 효과가 상승되는 것으로 분석되었다^{1),2)}.

본 연구에서 저자들이 기존에 수행한 팽창재 및 수축저감제를 사용한 고성능 콘크리트에 대한 자기수축 실험결과(고경택 등, 2003)와 자기수축 예측 모델 중에서 가장 합리적인 것으로 판단되는 Tazawa 모델과 비교·검토하였으며³⁾, 이를 통해 팽창재 및 수축저감제를 사용한 경우에 적합한 수정 Tazawa 모델을 제안하였다.

-
- * 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원
 - ** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원
 - *** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원
 - **** 정회원, 우석대학교 토목공학과 교수
 - ***** 정회원, 청주대학교 건축공학과 교수
 - ***** 정회원, 한국건설기술연구원 기획조정실 실장

2. 자기수축 실험개요

자기수축 시험은 결합재로서 보통 포틀랜드 시멘트만을 사용한 물-시멘트비 30%의 콘크리트에 대해 CSA계 팽창재, 글로폴즈계 수축저감제의 혼입 및 팽창재와 수축저감제의 병용 사용에 따른 영향을 검토하였다. 그리고 자기수축 실험은 일본콘크리트공학협회(JCI)의 시험방법에 의거 실시하였다. 시험체 제작은 그림 1에 나타난 바와 같이 양단 중심에 구멍이 뚫린 100×100×400mm의 철재 빔 몰드를 사용하였다. 콘크리트 공시체를 탈형한 후, 온도 20±2℃, 습도 65±10%으로 조절되는 항온항습실에서 알루미늄 접착 테이프로 밀봉하여 건조되지 않도록 하였으며 계획한 재령에서 길이변화 및 질량변화를 측정하였다. 그리고 JCI에 정한 질량변화율이 0.05% 이상 변화된 경우에는 자기수축 변형으로 취급하지 않았으며 자기수축 시험을 실시하는 동안의 질량감소율을 측정된 결과, 본 시험을 실시하는 동안에 JCI 기준인 0.05% 이상의 공시체 질량감소는 발생하지 않았다.

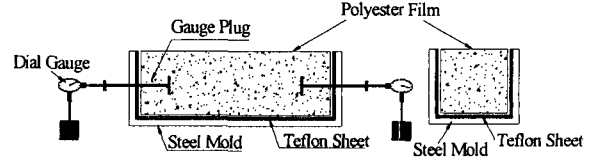


그림 1. 자기수축 시험장치 개요

3. 수축저감재료 사용에 따른 자기수축 예측모델

3.1 수축저감제를 혼입한 경우

콘크리트의 자기수축을 예측하기 위한 기존 모델은 시멘트 및 결합재의 종류, 물-결합재비 및 온도의 영향 등을 영향인자로 하는 Tazawa모델(Tazawa의, 2001), 물-시멘트비에 기초한 Jonasson모델(Jonasson, 2000) 및 콘크리트의 28일 압축강도에 따른 RELEM 및 CEB-FIB의 자기수축 예측모델(RILEM, 1997 : CEB-FIP, 1999) 등으로 나눌 수 있다. 이들 자기수축 예측모델에 대한 고찰한 결과, Tazawa 모델이 가장 적합한 것으로 나타나 본 논문에서는 Tazawa모델을 활용한 수정모델을 제안하고자 한다.

Tazawa가 제안한 자기수축 예측모델은 식(1)과 같으며, $\epsilon_{c0}(W/B)$ 및 $\beta(t)$ 는 각각 식 (2) 및 식 (3)으로 표현되는 최종 자기수축 양과 자기수축 진행을 나타내는 함수이다. 또한, 식 (1)에서 γ 는 시멘트 종류에 따른 계수를 나타낸다.

$$\epsilon_c(t) = \gamma \cdot \epsilon_{c0}(W/B) \cdot \beta(t) \quad (\text{식 1})$$

$$\epsilon_{c0}(W/B) = 3070 \exp\{-7.2(W/B)\} \quad (0.2 \leq W/B \leq 0.5), \quad \epsilon_{c0}(W/B) = 80 \quad (0.5 < W/B) \quad (\text{식 2})$$

$$\beta(t) = 1 - \exp\{-a(t-t_0)^b\} \quad (\text{식 3})$$

여기서, $\epsilon_c(t)$: 재령 t에서 자기수축 변형률($\times 10^{-6}$)

γ : 시멘트 및 혼화재 종류의 영향 계수(OPC 인 경우 $\gamma=1.0$)

$\epsilon_{c0}(W/B)$: 자기수축 변형률의 극한값($\times 10^{-6}$)

$\beta(t)$: 자기수축 진행을 표현하는 함수, W/B : 물-결합재비

a, b : 정수, t_0 : 초결 시점(day), t : 재령(day)

그림 2는 수축저감제를 혼입한 경우 Tazawa모델을 이용한 자기수축 회귀분석 결과를 나타내고 있

으며, 이를 통해 별도의 변수를 사용하지 않고 시멘트 종류에 따른 자기수축량의 차이를 보여주는 계수 γ 를 수축저감제에 따른 자기수축 감소효과를 나타내는 변수로 하여 시간에 따른 자기수축을 비교적 정확히 예측할 수 있음을 알 수 있다. 다만, 이 경우 계수 $a=0.375$, $b=0.5$ 로 동일한 물-시멘트비인 경우 $a=0.6$ $b=0.5$ 로 제안한 Tazawa 모델과 다소 차이가 있으며, 이것은 본 실험의 경우 자기수축 진행 속도가 Tazawa 등의 실험에 비해 다소 느리다는 것을 의미한다. 한편, 수축저감제 혼입률 0.5, 1.0에 대해 γ 가 각각 0.83, 0.65로 나타났으며, 이것은 보통 포틀랜드 시멘트만을 사용한 경우 계수 γ 가 1인 것과 비교하면 수축저감제를 사용했을 경우 17%, 35%의 자기수축 저감 효과가 있다는 것을 정량적으로 보여준다.

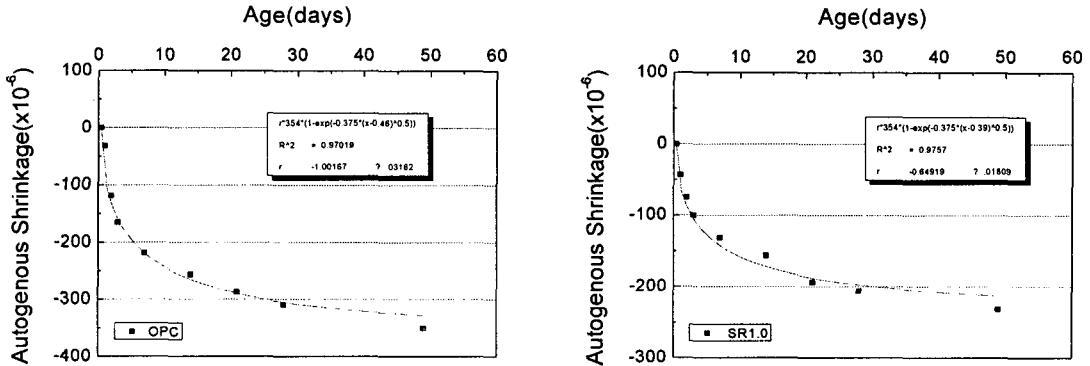


그림 2 수축저감제를 혼입한 경우 Tazawa 모델을 이용한 자기수축 회귀분석결과

3.2 팽창제를 혼입한 경우

팽창제를 혼입할 경우 초기에 팽창 곡선이 나타나기 때문에 기존의 Tazawa 모델을 사용하여 시간에 따른 자기수축 양을 예측할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 팽창제를 혼입한 고성능 콘크리트의 자기수축을 예측하기 위해 식 (4)와 같이 Tazawa 모델과 lognormal 곡선을 조합한 자기수축 모델을 제안하였다.

$$\epsilon_{as}(t) = \gamma \cdot \epsilon_{\infty}(W/B) \cdot \beta(t) + \frac{l}{nx} e^{\frac{[-\ln \frac{x}{m}]^2}{n}} \quad (\text{식 4})$$

여기서, γ 는 기존 모델과 동일하게 시멘트 및 혼화제 종류에 따른 자기수축 영향 정도를 나타내는 계수이며, 계수 l , m , n 은 각각 곡선의 amplitude, center, width를 나타내는 값으로 두 번째 항은 팽창제 사용에 따른 피크를 고려할 수 있도록 한다. 그림 3 및 표 1에는 각각 팽창제를 혼입한 경우 식 (4)와 실험결과 비교 및 혼화제를 혼입한 경우 수정 제안된 자기수축 모델의 계수값 등이 제시되어 있다. 이 경우 식 (3)에 있는 계수 a , b 의 값은 물-시멘트 비가 30%인 경우 각각 0.375 및 0.5로 일정하므로 표 1에는 각각의 경우에 대한 계수 γ , l , m , n 만을 나타내었다.

표 1에서 팽창제를 혼입한 경우에 대한 계수 γ 의 영향을 살펴보면 다음과 같다. 팽창제를 5%, 10% 사용한 경우 γ 가 각각 0.62 및 0.30으로 나타났으며, 이것은 보통포틀랜드 시멘트의 경우 계수 γ 가 1인 것과 비교하면 팽창제를 혼입한 경우 혼입량에 따라 38%, 70%의 자기수축 저감 효과가 있다는 것을 정량적으로 보여준다. 한편, 수축저감제와 팽창제를 동시에 사용한 경우 계수 γ 는 각각 0.47 및 0.20으로 나타나고 있으며, 특히 수축저감제 0.5%, 팽창제 5%를 병행한 경우를 각각 사용한 경우의

수축저감 효과와 비교해보면, 병행한 경우의 수축저감 효과가 80%로 각각 사용한 경우의 55%(17%+38%)에 비해 매우 큰 것을 알 수 있다. 이에 따라 고성능 콘크리트를 제조하는 경우 강도 증진, 내구성 향상과 함께 자기수축에 의한 초기균열 발생 가능성을 감소시키기 위해서는 수축저감제를 중심으로 팽창재를 적당히 병용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

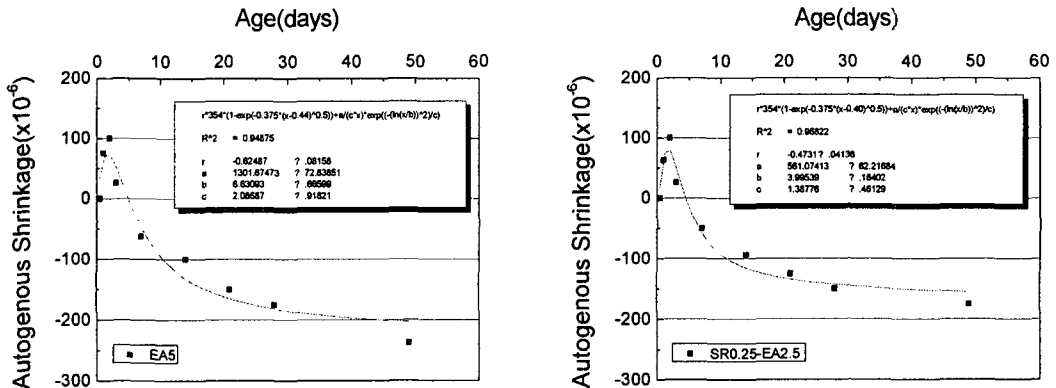


그림 2 팽창재를 혼입한 경우 회귀분석을 통한 수정 Tazawa모델

표 1 수정 제안된 Tazawa모델 계수 γ, l, m, n

W/B(%)	Kinds	γ	l	m	n	R^2
30	OPC	1.00	-	-	-	0.9699
	SR0.5	0.83	-	-	-	0.9801
	SR1.0	0.65	-	-	-	0.9757
	EA5	0.62	1301.67	6.63	2.09	0.9488
	EA10	0.30	2103.56	8.53	2.33	0.9494
	SR0.25:EA2.5	0.47	561.07	3.40	1.39	0.9682
	SR0.5:EA5	0.20	1435.03	6.66	1.72	0.9860

4. 결론

본 연구에서는 수축저감제 및 팽창재 혼입에 따른 고성능 콘크리트의 자기수축량을 예측하기 위해 Tazawa모델을 활용한 회귀분석 모델을 수정·제안하였다. 이 경우 수축저감제를 사용할 경우에는 계수 γ 를 적절히 수정하여 기존 Tazawa모델을 적용함으로써 자기수축을 적절히 예측 가능하였으며, 팽창재를 사용할 경우에는 기존 Tazawa모델과 lognormal 곡선을 조합한 새로운 모델을 구성하여 제시하였다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, "콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발", 2003. 12
2. 한천구, 김성욱, 고경택, 배정렬, "팽창재 및 수축저감제를 이용한 고성능 콘크리트의 수축특성", 한국콘크리트학회 논문집 Vol. 15, No. 6, pp. 785-793, 2003. 12
3. 고경택, 유성원, 김도겸 등, "방물질 혼화제를 사용한 고성능 콘크리트의 자기수축 예측", 대한토목학회 학술발표회, 2004.