

응결시간과 겉보기 활성화 에너지를 이용한 고로슬래그 콘크리트의 압축강도 예측에 관한 연구

Prediction of Compressive Strength Using Setting Time and Apparent Activation Energy of Blast Furnace Slag Concrete

김 한 솔*
Kim, Han-Sol

양 현 민**
Yang, Hyun-Min

이 한 승***
Lee, Han-Seung

Abstract

The compressive strength of concrete is greatly affected by the temperature inside the concrete at the initial age immediately after pouring. The apparent activation energy of cement and the setting time of concrete are major factors influencing the development of compressive strength of concrete. This study measured the apparent activation energy and setting time according to the change in W/B for each mixing rate of Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GGBFS). And after calculating the compressive strength prediction model, the accuracy of the prediction model was evaluated by comparing the predicted compressive strength and the compressive strength.

키 워 드 : 적산온도, 고로슬래그, 활성화 에너지

Keywords : maturity, ground granulated blast-furnace slag, apparent energy

1. 서 론

콘크리트의 압축강도는 타설 직후 초기 재령에서 콘크리트 내부의 온도에 크게 좌우된다. 적산온도법은 콘크리트의 재령에 대한 콘크리트의 온도 이력의 누적값과 압축강도 발현에 영향을 미치는 기타 계수들로 이루어진 적산온도 계산식을 이용하여 콘크리트의 초기 압축강도를 예측하는 방법으로, 이를 이용하여 거푸집 탈형 시기를 예측하여 공사비 절감 및 공기 단축을 기대할 수 있다. 시멘트의 겉보기 활성화 에너지와 콘크리트의 응결시간은 콘크리트의 압축강도 발현에 영향을 주는 주요 요소로서, 적산온도법을 이용하여 콘크리트의 압축강도를 예측할 때 이들을 정확하게 산정하는 것이 중요하다. 본 연구는 오늘날 주로 사용되는 혼화재인 고로슬래그(Ground Granulated Blast-Furnace Slag, GGBFS) 혼입률별 W/B의 변화에 따른 겉보기 활성화 에너지와 응결시간을 측정하고, 이를 이용하여 압축강도 예측모델을 산정한 후, 실측강도와의 비교를 통해 예측모델의 정확성을 평가하였다.

2. 실험방법

본 연구는 고로슬래그를 혼입한 시멘트 페이스트를 열량계를 이용하여 구한 발열 이력을 Arrhenius 화학반응 속도식에 적용하여 겉보기 활성화 에너지를 산정하고, 겉보기 활성화 에너지를 이용하여 얻은 등가재령과 고로슬래그 혼입률과 양생온도별 응결시간을 KS F 2436을 통해 산정 후 이를 Chrino의 쌍곡선 모델(식1)에 적용하여 압축강도를 예측하였다. 여기서, S_u : 종국강도, t_e : 등가재령, k_T :속도 상수, t_0 : 응결시간, E_a : 겉보기 활성화 에너지, R : 가스 상수(8.314J/mol·K), T_r : 표준 양생 온도(293K), T : 등가재령을 계산할 실험체의 양생온도(K)이다. 표 1은 실험에 사용된 시멘트와 GGBFS 및 혼입 비율과

등온 열량계의 온도 및 W/B비율을 나타낸 것이다.

표 1. 실험수준 및 배합

Category	Experimental Level	Unit
W/B	40, 50	%
Temperature	10, 20, 30	℃
GGBFS	0, 40	replacement ratio (% of B)

$$S = \frac{S_u \cdot k_T(t_e - t_0)}{1 + k_T(t_e - t_0)}, t_e = \int_0^t \exp\left(\frac{E_a}{R}\right) \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right) dt$$

식 1. Chrino 압축강도 예측식

식 2. 등가재령 산정식

* 한양대학교 건축시스템공학과 박사과정

** 한양대학교 ERICA 건설구조물 내구성혁신 연구센터 연구교수

*** 한양대학교 ERICA 건축학부 교수, 교신저자(ercleehs@hanyang.ac.kr)

시멘트는 KS L 5201 기준에 적합한 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 고로슬래그 미분말은 현장에서 주로 사용되는 KS F 2563에 규정된 3종 고로슬래그를 사용하였다. 겔보기 활성화 에너지는 구하기 위한 수화열은 10℃, 20℃ 및 30℃ 온도에서 측정되었으며, 실험체는 ASTM C 1702 규정에 따라 제작하였다.

3. 실험결과

그림 1과 그림 2는 보통 콘크리트의 응결시간과 고로슬래그 혼입 페이스트의 겔보기 활성화 에너지를 Chrino 예측모델에 적용하여 얻은 예측강도와, 10℃, 20℃, 30℃ 등온환경에서 양생한 콘크리트 실험체를 만능시험기를 통하여 측정한 압축강도를 비교한 것이다.

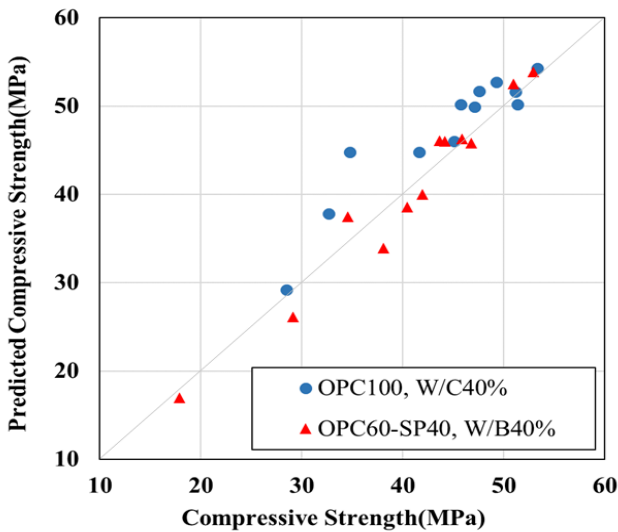


그림 1. 실측강도와 예측강도 비교 결과(W/B=40%)

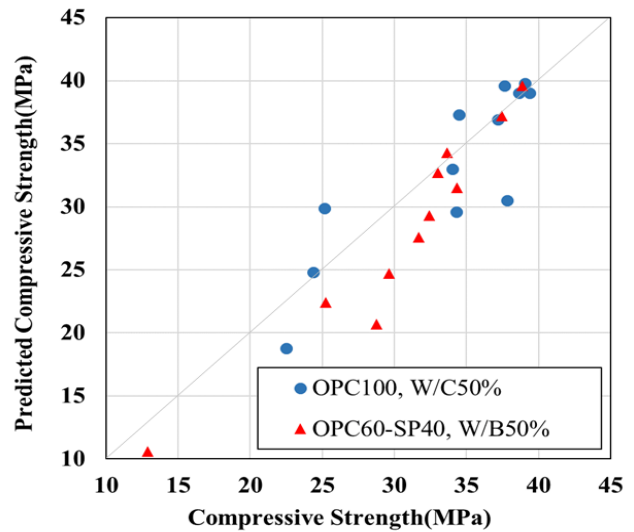


그림 2. 실측강도와 예측강도 비교 결과(W/B=50%)

실험결과 모든 배합 조건에서 재령일이 증가하고 높은 압축강도를 보일수록 예측강도의 정확성이 높아지는 경향을 보였다. OPC 100% 콘크리트의 경우 85%의 실험체가 예측모델의 오차율 10% 이내로 들어왔으나, 고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 경우 W/B가 50%일 때 비교적 오차율이 큰 경향을 보였다. 모든 배합에서 W/B가 40%일 때 50%에 비하여 예측 정확성이 높았으며 특히 고로슬래그를 혼입했을 경우 이 경향이 두드러졌다. 이는 고로슬래그 콘크리트가 OPC 콘크리트에 비해 초기 응결시간이 단위수량에 민감하게 반응하고, 이 때문에 초기 압축강도를 예측하기 힘든 것이 원인으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 단위수량별 고로슬래그 혼입 콘크리트의 압축강도를 예측하기 위하여 페이스트의 겔보기 활성화 에너지와 콘크리트의 응결시간 계산값을 Chrino 모델식에 기반에 적용하여 압축강도 예측모델을 산정하고, 압축강도 예측모델의 정확성을 실측강도와 비교하여 평가하였다. W/B가 40%일 때 OPC 100% 콘크리트와 고로슬래그를 40% 혼입한 콘크리트 모두 높은 정확성을 보였다. 예측 정확도는 초기 재령이거나 강도가 낮을수록, 고로슬래그를 혼입하고 W/B가 증가할수록 낮아지는 경향을 보였으며 이는 고로슬래그가 수분과 직접 반응하지 않는 잠재수경성을 지닌 재료로서 단위수량의 변화에 따라 초기강도가 민감하게 변화하는데 예측모델이 이를 충분히 보정하지 못한 것이 원인으로 판단된다. 추후 이와 다른 변수들을 고려하여 예측모델의 정확성을 높이고 충분한 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 연구는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다. (No.2015R1A5A1037548)

참 고 문 헌

1. 양현민, 조명원, 박원준, 이한승, 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 적산온도 산정과 압축강도 예측에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, pp443-444, 201