

# 수화모델을 이용한 콘크리트의 초기온도 예측에 관한 연구

## The Evaluation of Temperature History in Concrete by Using Cement Hydration Model

**왕 소 용\***                      **조 형 규\*\***                      **이 한 승\*\*\***  
 Wang, Xiaoyong              Cho, Hyeong-Kyu              Lee, Han-Seung

### Abstract

In this study, it carried out measurement experiment  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and chemically bound water to verify  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and chemically bound water prediction model out of hydration model of cement incorporating blast furnace slag. It compared and analyzed prediction results using prediction model with measurement results of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  quantity using thermogravimetric differential temperature analysis and chemically bound water quantity using electronic furnace. It agrees well experiments results with prediction results.

키 워 드 : 혼화재, 수화모델, 단열온도상승  
 Keywords : mineral admixture, hydration model, adiabatic temperature rise

### 1. 서 론

본 연구에서는 혼화재를 사용한 매스 콘크리트 구조물의 온도 변화로 인한 균열 발생 확률과 온도 응력을 평가하기 위하여 시멘트 수화반응 모델링을 통한 단열온도상승을 예측하고자 하였다. Tomozawa의 모델을 기초로 하여 수화생성물과 자유수 사이 접촉되는 면과 면 사이 부분의 축소와 자유수의 감소로 인한 수화반응율의 감소를 고려한 2 성분계 콘크리트의 미세 구조 수화모델을 구축하게 되었고, 구축한 모델의 타당성을 검증하기 위하여 실험을 통한 실험결과와 모델을 통한 예측결과를 비교하였다.

### 2. 포틀랜드 시멘트의 수화모델

수화반응 모델은 식 (1)과 같다. 식 (1)은 단일 시멘트 입자의 수화반응 과정을 설명한 Tomozawa 모델을 기본으로 구축되었다. 이 모델은 시멘트 수화반응의 전체과정을 단일 속도 식으로 표현한 것으로, 수화반응의 진행으로 인한 시멘트 입자의 주위에 형성된 초기피막과 수화생성물은 외부의 물과 새롭게 형성된 수화 생성물 간의 상호 확산속도와 미 반응 시멘트입자의 표면에서

의 화학반응속도에 의해 수화반응속도가 결정되는 것으로 가정하였다.

$$\frac{d\alpha^j}{dt} = \frac{3C_{w\infty}}{(\nu + w_{ag})r_0^j\rho} \frac{1}{\left(\frac{1}{k_d} - \frac{r_0^j}{D_e}\right) + \frac{r_0^j}{D_e}(1 - \alpha^j)^{-\frac{1}{3}} + \frac{1}{k_r}(1 - \alpha^j)^{-\frac{2}{3}}} \quad (1)$$

$$k_d = \frac{B}{(\alpha^j)^{1.5}} + C(r_0^j - r_t^j)^4 \quad (2)$$

$$D_e = D_{e0} \ln\left(\frac{1}{\alpha^j}\right) \quad (3)$$

여기서,

$\alpha^j$  : 주어진 시멘트입자의 수화도

$j$  : 단일시멘트입자

$\nu$  : 화학량론비

$w_{ag}$  : 물리적결합수

$\rho$  : 시멘트의밀도

$r_0^j$  : 미수화시멘트입자의반경

$D_e$  : 수화생성물의수분유효확산계수

$C_{w\infty}$  : 수화물 외부의 물의 집중농도

$k_r$  : 시멘트의 유효반응률

$k_d$  : 잠복기반응계수

$D_{e0}$  : 초기발산계수

### 3. 혼화재 혼입 시멘트의 수화모델

\* 한양대학교 건축공학과 연구교수, 공학박사  
 \*\* 한양대학교 일반대학원 건축환경공학과 박사과정  
 \*\*\* 한양대학교 ERICA캠퍼스 건축학부 부교수, 공학박사, 교신저자  
 (erclee@hanyang.ac.kr)

본 연구에서 제안한 모델은 시멘트 수화반응과 혼화재 반응을 고려하였다. 두 반응 사이의 차이점을 고려하여 혼합시멘트의 수화반응 모델을 시멘트 수화반응식으로부터 구축할 수 있었다. 혼화재를 혼합한 혼합시멘트 수화반응 모델은 식 (4)와 같이 제안할 수 있다.

$$\frac{d\alpha_{FS}}{dt} = \frac{m_{CH}(t)}{P} \times \left[ \frac{w_{cap}}{w_0} \right]_{SL} \times \frac{3}{\nu_{FS} \rho_{FS}} \times \frac{1}{\left( \frac{1}{k_{dFS}} - \frac{r_{FS0}}{D_{eFS}} \right) + \frac{r_{FS0}}{D_e} (1-\alpha_{FS})^{-\frac{1}{3}} + \frac{1}{k_{rFS}} (1-\alpha_{FS})^{-\frac{2}{3}}} \quad (4)$$

#### 4. 콘크리트의 초기 온도 예측

단열온도 상승 및 초기 온도 이력에 관한 실험 결과와 예측 값을 그림 1에 나타내었고 물시멘트비가 낮은 때의 반응 완료시의 단열 온도 변화가 감소되는 것을 모델화 하였다.

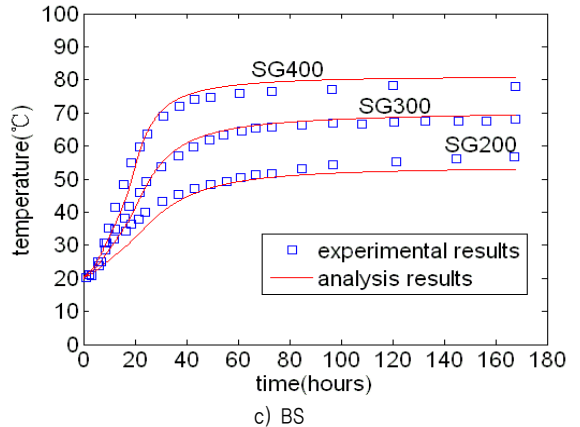
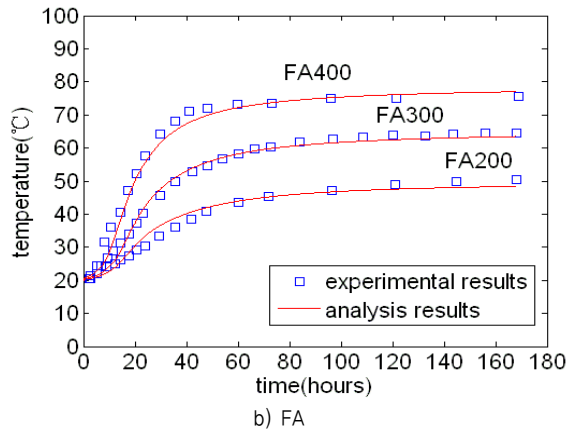
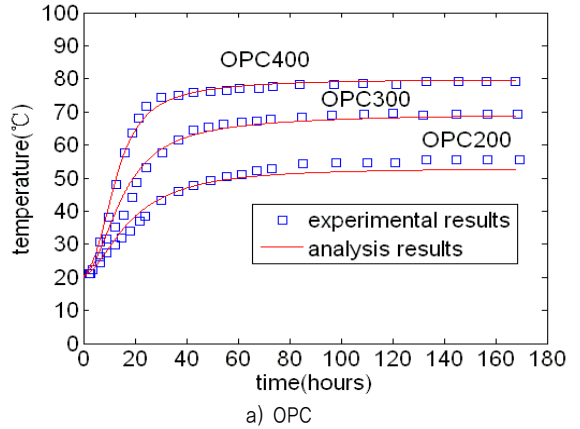
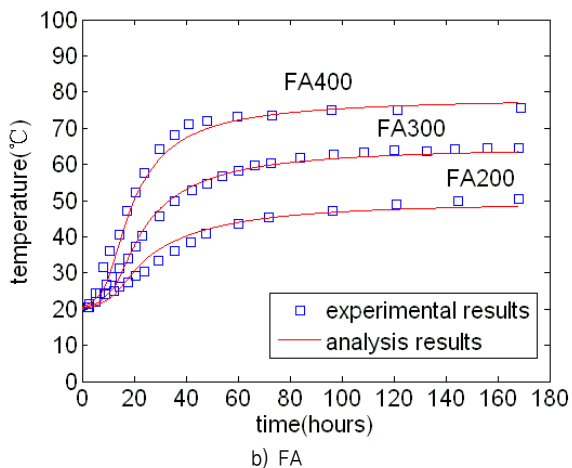
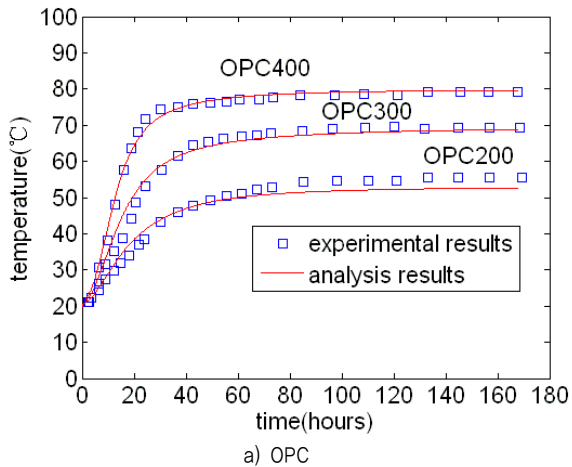


그림 1. 단열온도상승 예측 및 실험결과 비교

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : 2010-0014051, 20120000740

#### 참고 문헌

1. Wang XY, Lee HS, A model predicting carbonation depth of concrete containing silica fume, Materials and Structures, Vol.42, No.6, pp.691~704, 2009