

# 온도와 습도의 변화에 따른 콘크리트 내부의 열, 수분 분포 예측

## Prediction of Heat and Water Distribution in Concrete due to Changes in Temperature and Humidity

박 동 천\*

Park, Dong-Cheon

이 준 해\*\*

Lee, Jun-Hae

### Abstract

Concrete changes its internal moisture distribution depending on the external environment, and changes in the condition of the material's interior over time affect the performance of the concrete. These effects are closely related to the long-term behavior and durability of concrete, and the degree of deterioration varies from climate to climate in each region. In this study, we use actual climate data from each region with distinct climates. A multi-physical analysis based on the method was conducted to predict the difference and degree of deterioration rate by climate

키 워 드 : 온도, 상대습도, 유한요소해석, 열 이동, 수분 이동

Keywords : temperature, relative humidity, FEM analysis, heat transfer, moisture transfer

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

콘크리트는 외부 환경에 따라 내부 수분 분포를 변화시키고, 시간이 지남에 따라 재료의 내부 상태 변화가 콘크리트의 성능에 영향을 미친다. 외부와 내부의 상태에 평형을 이루기 위한 내부 상태 변화는 콘크리트의 성능에 영향을 미치며, 이러한 영향은 콘크리트의 장기적 거동 및 내구성과 밀접한 관련이 있고<sup>1)</sup>, 각 지역의 기후에 따라 거동의 차이가 나타난다.

본 연구에서는 기후가 뚜렷한 각 지역의 2017년 ASHRAE 표준 기후 데이터를 이용하며, 기후에 따른 열화의 차이와 정도를 예측하기 위한 콘크리트의 내부 온습도 분포를 파악해 본다. 분석방법으로는 유한요소법을 활용한 다 물리적 분석을 실시하였다.

## 2. 기존연구의 고찰

### 2.1 기존연구의 연구내용

콘크리트 내부의 경년변화에 관한 연구는 과거부터 지속되어왔다. 기존 연구내용을 살펴보면 대부분 중성화 시험을 중심으로 경년 변화추정을 수행한 연구가 다수를 이루었으며, 시간에 따른 수분과 열의 연성해석에 관련된 논문도 존재하지만 그 변수가 W/C 값으로 외부환경이 변수가 되는 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 해석을 수행함에 있어 국내의 청주공항, 부산 공항, 제주 공항의 2017년 ASHRAE 표준 기후 데이터를 활용하여 각각 다른 외부 환경에 따른 콘크리트 내부의 온도, 수분 연성해석을 수행하였다.

## 3. 해석 수행

### 3.1 해석시 경계조건 및 물성

기존 논문들을 바탕으로 온도 습도 변화와 관계되는 콘크리트의 물성값과 해석시 경계조건들을 다음 표에 정리하였다.

\* 한국해양대학교 해양공간건축학부 교수, 교신저자(dcpark@kmou.ac.kr)

\*\* 한국해양대학교 해양건축공학과 석사과정

표 1. 해석시 경계조건 및 콘크리트 물성 <sup>3)4)</sup>

| 항목      | 연구내용                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 열전도율    | $k = k_{ref} \cdot k_T \cdot k_h \cdot k_{ag}$<br>$k_T = 1.05 - 0.0025T$ , $k_h = 0.8 \times (1.29 - 4.56 \times 10^{-6} (W/C)^3 + 0.2h)$<br>$k_{ag} = (0.28 + 1.03AG) \times (0.84 + 0.004(S/A))$                                                                             |
| 수분 확산계수 | $D(T, h) = D_{ref} \times f_1(T) \times f_2(h) \times f_3(\Phi)$<br>$f_1(h) = \alpha + \frac{(1-\alpha)}{1 + (\frac{1-h}{1-h_m})^n}$ , $f_2(T) = (\frac{T+273}{293})^N \times \exp[\frac{U}{R}(\frac{1}{293} - \frac{1}{T+293})]$ , $f_3(\Phi) = (\frac{\Phi_t}{\Phi_{28}})^m$ |
| 밀도      | 2400 kg/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 비열      | 1300 J/(kg×K)                                                                                                                                                                                                                                                                  |

여기서  $k_T, k_h, k_{ag}$ 는 각각 콘크리트의 온도, 습도, 골재의 특성이 열전도율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. T는 콘크리트의 온도, h는 콘크리트 내부의 습도, AG는 골재함유비 S/A는 잔골재율

여기서  $f_1(h), f_2(T), f_3(\Phi)$ 는 각각 상대습도, 온도, 재령일에 따른 공극률이 확산계수에 끼치는 영향이다. U는 활성화에너지, R은 기체상수,  $\alpha, n, h_m, N, m$ 는 콘크리트의 배합과 양생조건에 따른 재료정수이다.

3.2 해석시 적용한 외부환경

ASHRAE 데이터 베이스를 이용한 청주, 김해, 제주의 각각의 공항지역의 외기 온도, 습도, 풍속, 일사량을 적용하였다.

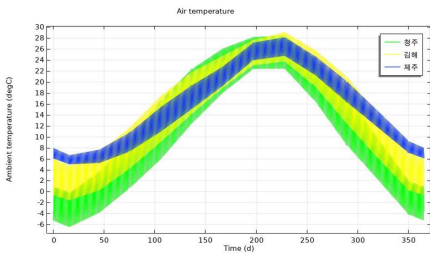


그림 1. 지역별 온도

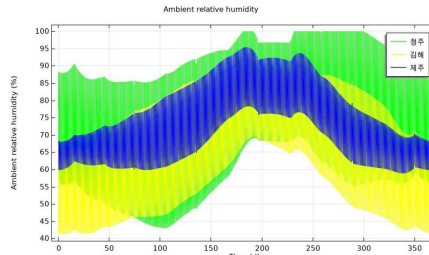


그림 2. 지역별 상대습도

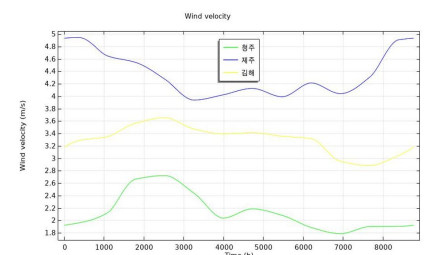


그림 3. 지역별 풍속

4. 결 론

- 1) 본 해석을 수행하여 환경조건에 따른 콘크리트 내부의 온도, 습도의 분포를 파악하는 수치해석모델을 구축하였다.
- 2) 해석 수행결과 1,2월 겨울철 콘크리트 내부의 냉각 속도는 제주도가 제일 빠른 것으로 나타났으며 이는 다른 지역에 비해 1,2월의 낮은 일사량과 높은 풍속으로 인한 것으로 사료된다.
- 3) 3cm 지점의 콘크리트의 온도 분포에서 최고온도는 하절기에 제주, 청주의 경우 50℃에 가까이 육박하며 이는 외기온도 이외의 일사에 의한 열전달에 의한 온도 상승으로 생각된다.

Acknowledgement

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이다. (No. 2019R1A2C1088029)

참 고 문 헌

1. 박동전, 환경변화에 따른 콘크리트 내부의 열,수분 경년변화 예측에 관한 해석적 연구
2. 류동우, 콘크리트중의 열 수분 동시이동을 고려한 수분분포 예측모델, 대한건축학회논문집 제25권, 2009.6
3. 김국한, 콘크리트의 연전도율에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회논문집, 제13권, 제4호, pp.305~313
4. Kang, Su-Tae, Experimental Study of Moisture Diffusion in Concrete, KAIST master thesis, 2002