

# IoT센서를 이용한 고로슬래그 혼입 콘크리트의 압축강도 예측 시스템 개발에 관한 기초 연구

## A Basic Study on the Development of Compressive Strength Prediction System for Blast Furnace Slag Contained Concrete using IoT Sensor

김 한 솔\*  
Kim, Han-Sol

장 종 민\*\*  
Jang, Jong-Min

민 태 범\*\*\*  
Min, Tae-Beom

이 한 승\*\*\*\*  
Lee, Han-Seung

### Abstract

The change of temperature and humidity in early-age concrete has a great influence on the durability of the structure. In this study, a reliable wireless sensor network system and a concrete embedded type Compressive strength prediction sensor were designed using the Arduino platform. The accuracy of the compressive strength prediction sensor was verified through a mock-up experiment, and it was confirmed that the experiment had sufficient accuracy to be used in the field environment.

키 워 드 : IoT, 아두이노, 적산온도  
Keywords : IoT, arduino, maturity

## 1. 서 론

오늘날 현장타설 콘크리트의 거푸집 탈형시기를 결정하기 위하여, 타설 직후 콘크리트의 내부 온도와 양생시간을 측정하여 콘크리트의 초기 압축강도를 예측하는 방법인 적산온도법을 통해 거푸집 탈형시기를 결정하는 적산온도법이 사용되고 있다. 하지만 현재 사용되는 콘크리트 매립센서는 고로슬래그 등 혼화재가 혼입되지 않은 가장 기본적인 시멘트 배합에 대한 압축강도 예측만을 제공하고, 고가의 가격으로 인해 대형 건설구조물에 대한 적용성이 낮다는 한계가 있어, 이에 다양한 배합에 적용할 수 있는 콘크리트 압축강도 예측센서 및 모니터링 시스템을 구현할 필요가 있다고 판단하였다. 본 연구에서는 오픈소스 하드웨어를 이용한 경제성있는 콘크리트 매립형 압축강도 예측 센서를 완성하고, 센서를 콘크리트에 매립하여 배합(물시멘트비, 결합재의 종류 및 치환율)과 양생시간에 따른 압축강도를 예측할 수 있는지 검증하고자 하였다.

## 2. 실험방법

배합별 압축강도 예측 정확도를 판단하기 위해 보통 콘크리트와 3종 고로슬래그를 혼입한 고로슬래그 콘크리트를 750mm×750mm×200mm 거푸집에 타설하여 실험하였으며 실험 배합비를 표 1에 나타내었다. 각 콘크리트 실험체에는 6개의 IoT센서를 매립하여 28일간 온도 데이터를 측정하였다. 각각 매립된 IoT 센서는 사전에 입력된 콘크리트 배합별 겉보기 활성화 에너지(Ea)를 이용한 Carino 쌍곡선 모델(그림1)을 통해 압축강도를 계산하며 무선 통신을 통해 실시간으로 압축강도 모니터링이 가능하다. 여기서  $S_u$  = 종곡강도 (재령28일),  $k_r$  = 시멘트수화반응속도 상수,  $t_0$  = 강도발현 시작 재령(중결시간),  $t_c$  = 재령(등가재령)을 뜻한다.

Mock-Up 실험체의 재령별 압축강도를 측정하기 위하여 타설 이후 3, 7, 14, 28일 시점에서 천공하여 압축강도를 측정하였으며, 센서에 내장된 압축강도 예측모델을 통한 예측 압축강도와의 오차를 비교하였다.

\* 한양대학교 건축시스템공학과 석사과정  
\*\* 한양대학교 건축시스템공학과 박사과정  
\*\*\* 성신양회 기술연구소 연구원  
\*\*\*\* 한양대학교 ERICA 건축학부 교수, 교신저자(erclleehs@hanyang.ac.kr)

$$S = \frac{S_u k_T (t_e - t_0)}{1 + k_T (t_e - t_0)}$$

그림 1. Carino 압축강도 예측식

표 1. 실험수준 및 배합

Name	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					AD (cwt%)	Slump (mm)	Air (%)
			W	C	Slag	Sand	Gravel			
OPC	50.0	49.0	175	340	0	874	949	1.05	190	4.2
GGBFS40	50.0	49.0	175	204	136	874	949	0.9	185	4.0

### 3. 실험결과

모든 데이터는 무선 센서 네트워크를 통하여 그림1, 2와 같이 실시간으로 모니터링되었으며, 콘크리트에 매립된 센서로부터 계측된 콘크리트 내부온도와 재령에 따른 압축강도 예측, 실측값을 그림 3, 4에 나타내었다.

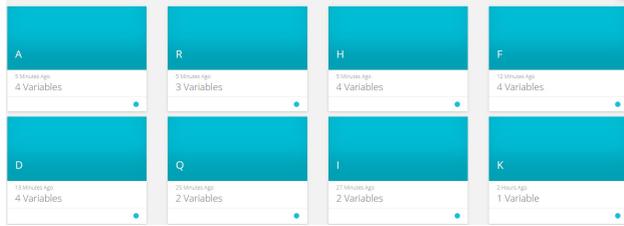


그림 1. 각 센서별 통신 상태

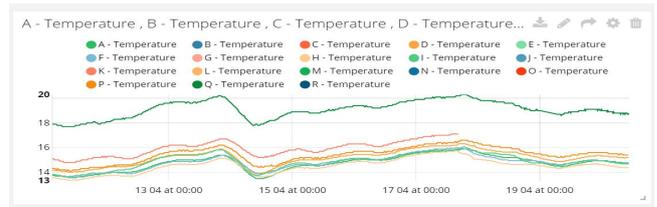


그림 2. 측정 결과 모니터링

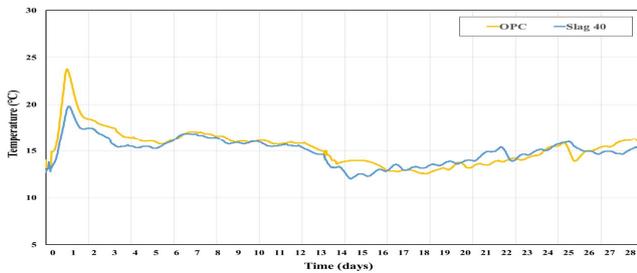


그림 3. 온도 측정 이력

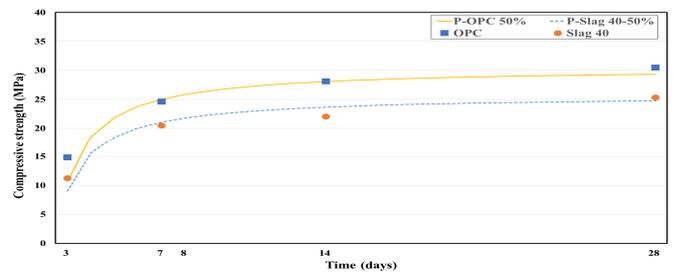


그림 4. 실측강도와 예측강도 비교 결과

온도 측정 결과, 보통 콘크리트와 고로슬래그 콘크리트 모두 0~2일 사이 온도상승이 확인되었으며, 이는 콘크리트 경화 과정에서 발생하는 화학반응으로 인한 수화열로 인한 것으로 판단하였다. 고로슬래그를 40% 혼입한 콘크리트가 보통 콘크리트에 비해 초기발열량이 적은 것을 확인하였으며 이는 고로슬래그는 수분과 직접 반응하지 않는 잠재수경성을 지닌 재료로서 보통 콘크리트에 비해 경화 과정에서 발열량이 적기 때문인 것으로 판단된다. Mock-Up실험체 Coring을 통한 실측강도와 센서로부터 계산된 예측강도를 재령별로 비교한 결과, 보통 콘크리트 및 고로슬래그 콘크리트 모두 7일 이상 재령일에서 5%미만의 오차만이 발생하여 비교적 정확하게 압축강도를 예측하였다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 내부의 온도 및 콘크리트의 압축강도를 예측하기 위한 IoT기반 압축강도 예측 센서를 제작하였다. 기존 제품대비 경제성을 확보하기 위하여 오픈 소스 하드웨어인 아두이노 플랫폼을 사용하였고, 이를 기반으로 콘크리트 매립형 온도 센서, 전송 시스템 제작 및 압축강도 예측모델을 구축하였다. 현장 환경을 재현한 Mock-Up실험을 통하여 IoT센서의 예측 압축강도와 실측 압축강도를 비교한 결과 7일 이상 재령에서는 5% 미만의 오차만이 관측되었으며, 현장 환경에서의 충분한 사용성을 지닌 것으로 판단되었다. 3일 이하 재령에서는 비교적 큰 오차가 발생하였으며, 재실험 및 압축강도 예측식 수정을 통해 추후 정확성을 보완할 계획이다.

### Acknowledgement

이 연구는 2020년도 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, pp.443~444, 201