

# 적산온도 기반 콘크리트의 압축강도 예측을 위한 무선 아두이노 센서 시스템 개발에 관한 기초 연구

## A Fundamental Study on Development of Arduino Wireless Sensor System for Prediction of Concrete Compressive Strength using Maturity

김 한 솔\*  
Kim, Han-Sol

문 동 환\*\*  
Moon, Dong-Hwan

이 한 승\*\*\*  
Lee, Han-Seung

### Abstract

The mechanical and durability characteristics of concrete structures depend on the construction environment, material conditions, design conditions, and temperature and humidity environment after casting. However, wired communication sensors which are mainly used in the field have many limitations in their usability and monitoring. In this study, all temperature and humidity data measured from embedded sensors are monitored via a wireless sensor network. Based on the measured temperature data, the predicted compressive strength of the concrete was compared with the actual compressive strength. As a result, The error between predicted strength and experimental strength has decreased over time.

키 워 드 : 적산온도법, 아두이노, 무선 센서, 압축강도

Keywords : maturity method, arduino, wireless sensor, compressive strength

### 1. 서 론

콘크리트 구조물의 역학적 성능은 타설 이후 콘크리트 내부의 온 습도 변화에 따라 크게 영향을 받는다. 콘크리트의 강도를 예측하는 방법 중 타설 이후 콘크리트 내부의 적산온도를 이용한 압축강도 예측은 구조체의 손상 없이 콘크리트의 압축강도를 예측할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 오늘날 콘크리트의 내부 온도 계측에 주로 사용되고 있는 Thermocouple은 고가의 장비를 필요로 하고 유선 케이블로 인해 작업을 방해받는 등의 문제점이 있다. 본 연구에서는 아두이노 기반 디지털 센서를 사용하여 콘크리트 내에서 무선 시스템을 통해 실시간으로 온도 및 습도 데이터를 측정 후, 온도 데이터를 바탕으로 적산온도법을 적용하여 콘크리트의 압축강도를 예측할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

### 2. 실험방법

본 연구를 위하여 아두이노와 PCB 보드, 무선 통신 모듈을 이용하여 그림 1과 같이 센서 노드를 제작하였고, 무선으로 온도 데이터를 전송하는 센서 및 무선 센서 네트워크를 구성하였다. 적산온도 산정에 필요한 콘크리트 내부의 온도 데이터를 계측하기 위해 아두이노와 호환되는 대표적인 디지털 온도 및 온 습도 센서 제품(SHT, DHT, DS18B20)을 Gore-Tex로 방수 처리한 후, 설계강도 30MPa의 콘크리트 표준공시체( $\varnothing 150\text{mm} \times 300\text{mm}$ )의 중앙부에 매립하였다. 콘크리트에 매립된 디지털 센서는 그림 2와 같이 외기 환경에서 실시간으로 변화하는 콘크리트 내 온도 변화를 측정한다. 측정된 온도 데이터는 무선 통신을 통해 15분 간격으로 전송되었다. 수집된 온도 데이터는 Saul 함수를 기반으로 한 적산온도식에 사용되었고 산정된 적산온도는 Plowman의 압축강도 예측식에 적용되었다. 예측된 압축강도는 콘크리트 실험체의 실제 압축강도와 재령 3일, 7일, 14일 실제 압축강도와 비교 분석되었다.

### 3. 실험결과

그림 3은 센서별로 계측 및 전송된 온도 데이터 기반으로 작성된 콘크리트 내부 온도 변화 추이를 나타낸 것이다. 그림 4는 콘크리트

\* 한양대학교 건축시스템공학과 석사과정

\*\* 한양대학교 건축시스템공학과 석사과정

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

내부의 온도 데이터를 기반으로 적산온도와 ASTM C-1074에 명시된 Plowman의 압축강도 예측식을 사용하여 구한 예측 압축강도와 실측 압축강도간 오차 추이를 재령별로 비교한 것이다.

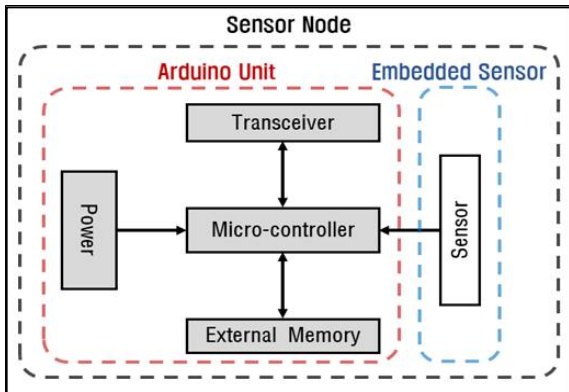


그림 1. 센서 노드 구성도

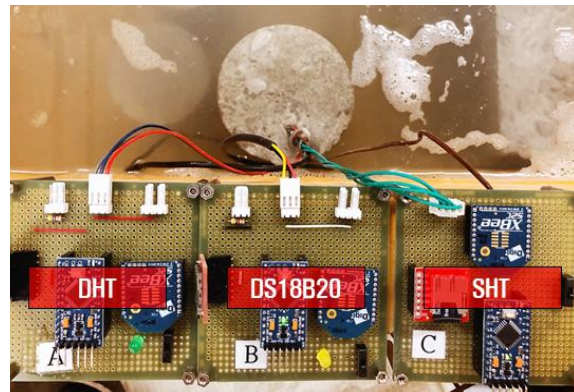


그림 2. 무선 온 습도 측정 시스템

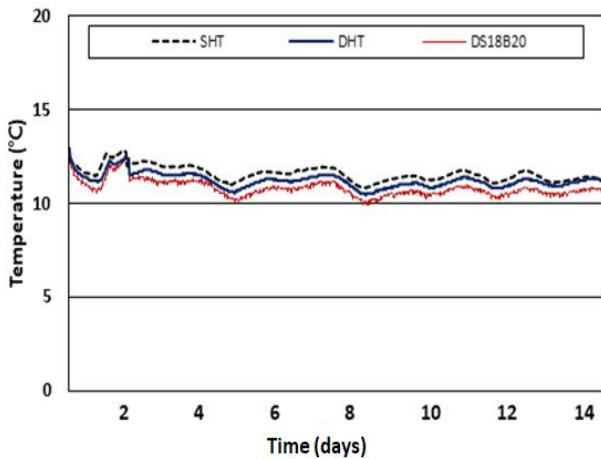


그림 3. 센서별 콘크리트 내부 온도 변화

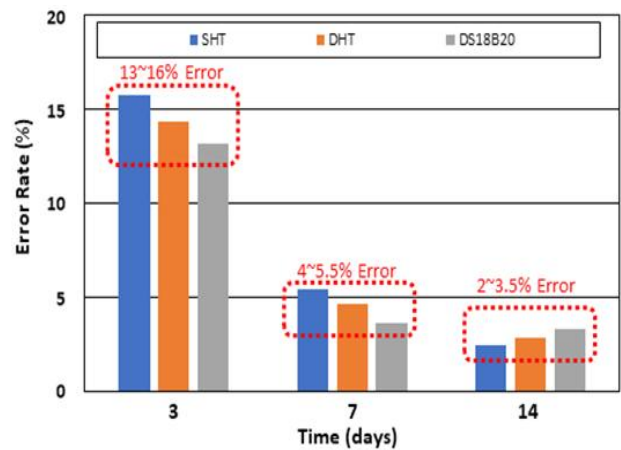


그림 4. 센서별 예측 압축강도와 실측 압축강도간 재령별 오차

#### 4. 결 론

본 연구에서는 아두이노를 기반으로 적산온도법을 통해 초기재령 콘크리트의 압축강도를 예측하기 위하여 3가지 종류의 아두이노 호환 디지털 센서를 사용하였다. 아두이노와 디지털 온도센서를 통해 온도를 측정한 결과 모든 센서가 높은 정확성 및 민감성을 보였다. 또한, 측정된 온도를 기반으로 적산온도를 산정한 후 각각의 센서를 통해 예측된 압축강도와 실측 압축강도를 비교한 결과, 세가지 센서 모두 재령일이 지날수록 예측 압축강도와 실제 압축강도 사이의 오차가 감소하였다. 따라서 아두이노와 아두이노 호환 디지털 센서의 정확성을 고려할 때 추후 적산온도 산정 및 압축강도를 예측하기 위한 연구에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### Acknowledgement

이 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이다. (No.2015 R1A5A1037548)

#### 참 고 문 헌

1. 염진우, 이한승, 콘크리트 매립형 무선 온·습도 센서를 이용한 콘크리트 압축강도 예측에 관한 기초적 연구, 한양대학교 대학원, 2018.8