

# FDR 센서를 통한 콘크리트 골재 변수에 따른 단위수량 평가에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Evaluation of Unit-Water Content According to Concrete Aggregate Variables through FDR Sensor

윤 지원\*      유 승 환\*\*      양 현 민\*\*\*      윤 종 완\*\*\*\*      박 태 준\*\*\*\*\*      이 한 승\*\*\*\*\*  
Youn, Ji-Won    Yu, Seung-Hwan    Yang, Hyun-Min    Yoon, Jong-Wan    Park, Tae-Joon    Lee, Han-Seung

### Abstract

The unit quantity that affects the workability, shrinkage cracking, and durability of concrete is an important factor. Methods for measuring the unit quantity include a high frequency heating method, a capacitance method, a unit volume mass method, and a simple method. However, these methods have the disadvantage of poor measurement method, time required, and precision. To solve this problem, a relatively simple and fast measurement method was adopted to compensate for the shortcomings through a Frequency Domain Reflection (FDR) sensor, and the unit quantity was used. In addition, the measurement data was analyzed by deep learning to evaluate the unit quantity of concrete.

키 워 드 : 내구성, 단위수량, FDR센서

Keywords : durability, unit-water content, frequency domain reflectometry sensor

## 1. 서 론

콘크리트의 시공성, 수축 균열 및 내구성 등에 영향을 미치는 단위수량은 콘크리트에 있어 중요한 요인이다. 현재 콘크리트의 내구성 문제가 크게 부각되고 있는 실정이다. 현재 단위수량을 측정하는 방법으로는 고주파가열법, 정전용량법, 단위용적질량법 및 간이법 등이 있다. 그러나, 위의 방법들은 측정하는 방법이 복잡하며 측정 소요시간이 느리고 휴대성이 좋지 않으며 정밀성이 떨어진다. 그래서 본 연구에서는 FDR(Frequency Domain Reflectometry) 센서로 위 방법들의 단점을 보완하여 측정하는 방법이며 비교적 간단하고 측정 소요시간이 빠르고 휴대성이 좋아 장소에 상관없이 측정이 가능한 방법이다. 또한 정밀성을 보완하기 위해 딥러닝 기법을 통해 해석하여 단위수량을 측정하는 실험적 연구를 실시하였다.

## 2. 실험 개요

표 1은 골재 변수에 따른 배합표 및 측정 데이터이다. 본 연구에서 사용된 골재 변수로는 잔골재율에 따른 단위수량 변화와 골재 치수에 따른 단위수량 변화를 측정하였으며, 잔골재율의 인자로는 50%, 55% 및 60% 이며, 골재 치수의 인자로는 13mm, 20mm 및 25mm로서 실험을 진행한다. FDR센서의 측정항목은 총 6개 이며 측정 항목으로는 TDS(Total Dissolved Solids), Epsilon, Salinity, VWC(Volumetric Water Content), EC(Electric Conductivity), Temp(Temperature)로 6개 이다. 측정 방법으로는 배합 직후부터 콘크리트를 센서를 통해 1초의 간격으로 10분간 측정하고 측정데이터를 딥러닝을 통해 해석을 진행한다.

\* 한양대학교 스마트시티공학과 석사과정  
\*\* 한양대학교 융합로봇시스템학과 석사과정  
\*\*\* 한양대학교 ERICA 연구교수  
\*\*\*\* 한양대학교 ERICA 산학협력중점 교수  
\*\*\*\*\* 한양대학교 ERICA 로봇공학과 교수  
\*\*\*\*\* 한양대학교 ERICA 건축학부 교수, 교신저자(ercleehs@hanyang.ac.kr)

표 1. 골재 변수에 따른 배합표 및 측정 데이터

| 구분         | W (Kg) | C (Kg) | S (Kg) | G (Kg) | Temp  | EC   | VWC   | TDS  | Salinity | Epsilon |
|------------|--------|--------|--------|--------|-------|------|-------|------|----------|---------|
| S/a50-W170 | 170    | 340    | 881    | 888    | 23.67 | 3714 | 62.52 | 1857 | 2042     | 57.17   |
| S/a50-W190 | 190    |        | 855    | 862    | 22.75 | 4321 | 68.21 | 2160 | 2376     | 63.07   |
| S/a50-W210 | 210    |        | 829    | 835    | 23.02 | 4720 | 74.99 | 2360 | 2596     | 67.92   |
| S/a55-W170 | 170    |        | 970    | 799    | 23.43 | 3641 | 60.96 | 1820 | 2002     | 55.38   |
| S/a55-W190 | 190    |        | 941    | 776    | 22.40 | 4005 | 64.63 | 2002 | 2202     | 59.60   |
| S/a55-W210 | 210    |        | 912    | 752    | 22.58 | 4547 | 72.25 | 2273 | 2500     | 66.13   |
| S/a60-W170 | 170    |        | 1058   | 711    | 23.55 | 3402 | 58.12 | 1701 | 1871     | 51.53   |
| S/a60-W190 | 190    |        | 1026   | 689    | 22.67 | 3846 | 62.46 | 1923 | 2115     | 57.29   |
| S/a60-W210 | 210    |        | 995    | 668    | 22.36 | 4255 | 67.12 | 2127 | 2340     | 61.80   |
| 13mm-W180  | 180    |        | 1007   | 757    | 22.90 | 3396 | 57.37 | 1698 | 1867     | 50.61   |
| 13mm-W210  | 210    |        | 962    | 723    | 22.65 | 3896 | 64.16 | 1948 | 2143     | 59.27   |
| 20mm-W180  | 180    |        | 1007   | 741    | 22.65 | 3632 | 62.44 | 1816 | 1997     | 57.21   |
| 20mm-W210  | 210    |        | 962    | 707    | 22.50 | 3888 | 63.72 | 1944 | 2138     | 58.78   |
| 25mm-W180  | 180    |        | 1007   | 757    | 22.79 | 3766 | 62.78 | 1883 | 2071     | 57.70   |
| 25mm-W210  | 210    |        | 962    | 723    | 22.82 | 4264 | 70.47 | 2132 | 2345     | 65.04   |

### 3. 결과 및 분석

표 2, 3은 FDR 센서를 통해 측정된 단위수량을 오차 범위에 따른 분석 정확도이다. 또한, 그림 1, 2, 3, 4는 골재 변수에 따른 단위수량 해석 그래프이다. S/a에 따른 단위수량 측정에서는 오차범위 ±5kg 일 때 41.12%, ±15kg 일 때 80.28%의 결과를 얻었으며 골재치수에 따른 단위수량 측정에서는 오차범위 ±5kg 일 때 87.22%, ±15kg 일 때 94.89%의 결과 값을 얻었다. 오차범위를 늘릴수록 정확도 또한 증가하고 있음을 확인하였으며 딥러닝 해석 결과 각 단위수량에 분포하는 데이터를 확인할 수 있었다. 다른 변수에서의 데이터를 얻어 학습시키면 높은 정확도를 얻을 수 있으며 그로 인한 추가적으로 실험을 진행해야 된다고 사료된다.

표 2. S/a에 따른 단위수량 분석 정확도

| W/C (%)<br>Error | S/a50 | S/a50 | S/a50 | S/a55 | S/a55 | S/a55 | S/a60 | S/a60 | S/a60 | Mean  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  | -W170 | -W190 | -W210 | -W170 | -W190 | -W210 | -W170 | -W190 | -W210 |       |
| ± 5kg            | 30.43 | 2.36  | 96.34 | 24.02 | 2.33  | 76.87 | 44.87 | 76.82 | 16.07 | 41.12 |
| ± 10kg           | 32.91 | 7.69  | 97.56 | 33.76 | 42.69 | 96.25 | 58.97 | 100   | 65.47 | 59.48 |
| ± 15kg           | 38.5  | 71.59 | 98.17 | 38.31 | 99.41 | 99.37 | 89.1  | 100   | 88.09 | 80.28 |

표 3. 골재치수에 따른 단위수량 분석 정확도

| W/C (%)<br>Error | 13mm  | 13mm  | 20mm  | 20mm  | 25mm  | 25mm  | Mean  |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                  | -W180 | -W210 | -W180 | -W210 | -W180 | -W210 |       |
| ± 5kg            | 100   | 100   | 96    | 100   | 27.33 | 100   | 87.22 |
| ± 10kg           | 100   | 100   | 98    | 100   | 56    | 100   | 92.33 |
| ± 15kg           | 100   | 100   | 98.66 | 100   | 70.66 | 100   | 94.89 |

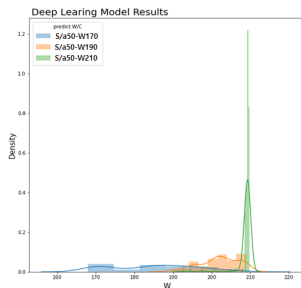


그림 1. S/a50에 따른 단위수량 해석 그래프

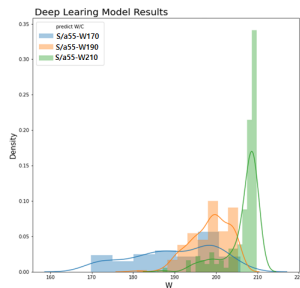


그림 2. S/a55에 따른 단위수량 해석 그래프

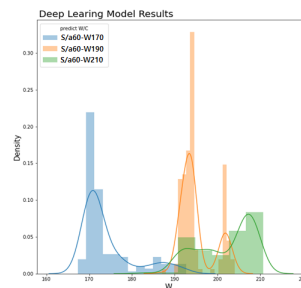


그림 3. S/a60에 따른 단위수량 해석 그래프

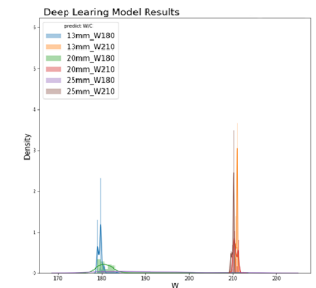


그림 4. 골재치수에 따른 단위수량 해석 그래프

### 4. 결론

FDR 센서를 통해 콘크리트의 골재 변수에 따른 단위수량 측정 실험적 연구를 실시하였다. 딥러닝을 통한 해석 값을 ±5kg 이상의 오차 범위를 가질 때 단위수량을 정확히 평가 할 수 있었다. 또한 오차범위가 늘어남에 따라 결과 값이 증가함을 볼 수 있었으며 오차범위가 낮아짐에 따른 정확도를 높이기 위해서는 다른 변수의 추가적인 실험을 진행할 필요가 있다고 사료 된다.

### Acknowledgement

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

### 참고 문헌

- 김복규 외 5인, 마이크로 웨이브 센서를 활용한 콘크리트 단위수량 추정에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회, 제30권 제2호, pp.545~546, 2018.11