

고주파수분센서를 이용한 골재 종류에 따른 콘크리트 단위수량 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of Concrete Unit-Water Content by Aggregate Type Using Frequency Domain Reflectometry Sensor

윤지원¹ · 이승엽¹ · 유승환² · 양현민³ · 이한승^{4*}

Youn, Ji-Won¹ · Lee, Seung-Yeop¹ · Yu, Seung-Hwan² · Yang, Hyun-Min³ · Lee, Han-Seung^{4*}

Abstract : Recently, interest in concrete quality has been increasing. It is important to manage these factors due to unit-water content and aggregate quality that affect concrete quality. In this study, the unit-water content of concrete was measured through an economical, easy-to-measure, and portable Frequency Domain Reflectometry sensor among micro-methods that compensated for the shortcomings of existing concrete unit-water content measurement methods. As a result of predicting the unit-water content, the accuracy within the $\pm 10 \text{ kg/m}^3$ error range was confirmed to be more than 72% of all factors. In order to ensure high accuracy, it is considered necessary to conduct an experiment to evaluate the unit-water content by conducting additional experiments according to other variables and factors.

키워드 : 내구성, 단위수량, 고주파수분센서

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

1. 서론

최근 정부의 환경규제 강화와 제한 등으로 천연골재 공급이 불안정해지면서 발파서, 부순 골재 등의 저품질 골재 사용이 증가하고 있는 실정이다. 콘크리트 제조 시 품질의 직접적으로 영향을 미치는 요인으로는 단위수량과 골재의 품질 등의 원재료에 의해 결정되므로 품질에 맞는 관리가 중요하다. 현재 콘크리트 품질에 대한 관리가 대두되고 있는 실정으로 국내에서도 일반콘크리트의 단위수량 시험기준이 강화되어 고시되었다. 기존 단위수량을 측정하는 방법은 측정방법의 난이도나 휴대성 및 경제성이 좋지 않은 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 기존 측정 방법들의 단점을 보완하고 콘크리트 단위수량 측정에 대한 연구가 전무한 FDR(Frequency Domain Reflectometry) 센서를 활용하여 단위수량을 측정하고자 하며, FDR 센서의 한계점을 해결하기 위해 딥러닝 모델 중 단일 입력 잔차 모델을 활용하여 콘크리트 단위수량 예측 및 정확도를 평가하는 실험적 연구를 하고자 한다.

2. 실험 개요

표 1은 배합상의 골재 종류에 따른 배합표로 A, B, C, D, E, F 지역의 잔골재 및 굵은골재를 변수로 두어 배합을 진행하였다. FDR 센서의 측정 항목은 총 6가지로 단위용적수분함량(Volumetric Water Content measurement, VWC), 유전상수(Electric Conductivity measurement, EC), 총 용존 고형물(Total Dissolved Solids, TDS), 유전율(Epsilon), 염분(Salinity) 및 온도(Temperature, Temp)가 출력된다. 단위수량을 측정하는 방법으로는 배합 직후의 콘크리트를 준비된 100×100×200 mm의 직방형 플라스틱 용기에 타설하고 FDR 센서를 삽입하여 매초 1개씩 1,000개 이상의 데이터를 약 17분간 측정을 진행한다. 측정된 데이터는 데이터 시트로 출력되며, 출력된 데이터를 가공하여 약 85%의 데이터를 학습 및 검증을 진행 시키고 약 15%의 데이터를 학습된 딥러닝을 통해 단위수량을 예측 및 정확도를 평가하였다.

1) 한양대학교 스마트시공학과, 박사과정

2) 한양대학교 융합로봇시스템학과, 박사과정

3) 한양대학교 ERICA 스마트융합공학부, 조교수

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

표 1. 골재 종류에 따른 인자별 배합표

Category	W/B* (%)	Water (kg/m ³)	Binder (kg/m ³)			Fine aggregates (kg/m ³)	Coarse aggregates (kg/m ³)	Admixture (B%)
			OPC**	F/A***	S/P****			
AS:AG	50.0	185	238	51	51	1023	746	0.70
BS:CG		181						
DS:DG		183						
ES:EG		196						
FS:FG		203						

* Water-to-Binder ratio
** Ordinary Portland Cement

*** Fly Ash
**** Slag Powder

3. 결과 및 분석

표 2는 FDR 센서를 통해 측정된 6개의 데이터 값의 평균값이다. A 지역의 잔골재와 굵은 골재를 사용한 배합이 Temp 값을 제외한 나머지 5가지의 값이 가장 높게 나온 것을 확인할 수 있었으며, F 지역의 출력값들이 가장 낮게 나온 것을 확인할 수 있었다. 표 3과 그림 1의 경우 측정된 FDR 센서를 통해 측정된 단위수량의 정확도와 단위수량의 분포 그래프이다. 정확도는 $\pm 5, 10, 15\text{kg/m}^3$ 의 오차범위를 두었으며 모든 인자 $\pm 15\text{kg/m}^3$ 일 때 99% 이상의 정확도를 확인할 수 있었으며나 $\pm 5\text{kg/m}^3$ 일 때 E 지역의 잔골재와 굵은 골재를 사용한 배합이 30%로 낮은 정확도를 확인할 수 있었다.

표 2. 골재 종류에 따른 인자별 측정 데이터

Category	Temp (°C)	EC (us/cm)	VWC (%)	TDS (mg/L)	Salinity (mg/L)	Epsilon (%)
AS:AG	22.04	3956	63.76	1978	2175	58.92
BS:CG	22.26	3011	53.37	1505	1656	44.08
DS:DG	22.15	3623	59.98	1811	1992	54.37
ES:EG	22.18	3011	54.28	1505	1655	45.64
FS:FG	22.00	2746	48.98	1373	1510	36.61

표 3. 골재 종류에 따른 인자별 단위수량 분석 정확도

Category Error	AS:AG	BS:CG	DS:DG	ES:EG	FS:FG
$\pm 5\text{kg/m}^3$	58.0	96.67	97.33	30.0	82.67
$\pm 10\text{kg/m}^3$	83.33	99.33	99.33	72.0	95.33
$\pm 15\text{kg/m}^3$	100.0	100.0	100.0	100.0	99.33

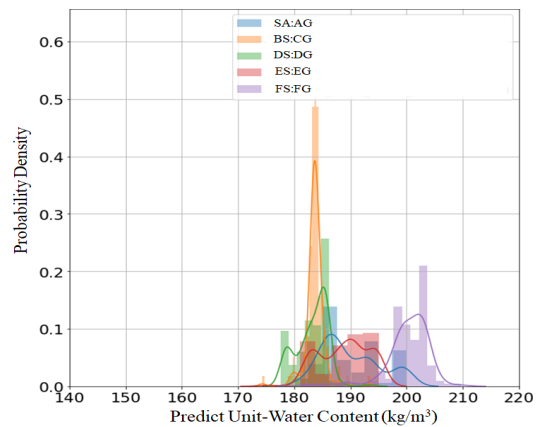


그림 1. 각 인자에 따른 단위수량 해석 분포 그래프

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 품질에 영향을 미치는 단위수량을 FDR 센서를 통해 측정하고 딥러닝을 모델을 통해 예측했다. 측정은 골재 종류에 따른 인자를 측정하였다. 또한, 예측된 단위수량을 배합상의 단위수량과 비교하여 오차범위 내에 들어오는 정확도를 평가하였으며, 오차범위 $\pm 10\text{kg/m}^3$ 이내의 정확도가 72% 이상으로 높은 정확도를 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 골재 종류에 따른 단위수량 정확도를 평가하였지만, 높은 정확도를 확보하기 위해 다른 변수 및 인자에 따른 추가적인 실험을 진행하여 각 데이터를 수집하고 수집한 데이터를 토대로 단위수량을 평가하는 실험을 진행할 필요가 있다고 사료 된다.

감사의 글

이 성과는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1A5A1025137).

참고문헌

1. 김목규 외 5인. 마이크로 웨이브 센서를 활용한 콘크리트 단위수량 추정에 관한 실험적 연구. 한국콘크리트학회. 2018. 제30권 제2호. pp. 545-546.