

고주파수분센서를 활용한 분체 비율별 모르타르 단위수량 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of Mortar Unit-Water Content by Powder Ratio Using Frequency Domain Reflectometry Sensor

윤지원¹ · 이승엽² · 위광우³ · 양현민⁴ · 이한승^{5*}

Youn, Ji-Won¹ · Lee, Seung-Yeop² · Wi, Kwang-Woo³ · Yang, Hyun-Min⁴ · Lee, Han-Seung^{3*}

Abstract : Currently, interest in the quality of concrete is increasing. Among the important factors for evaluating the quality of concrete, interest in unit-water content is also increasing. Currently, the air-meter method, the microwave oven drying method, the capacitance method, and the microwave penetration method are used to measure the unit-water content of concrete.. Among the above methods, except for the microwave method, the measurement method is complicated, portability is reduced, and economic efficiency is reduced. This research aims to measure a unit-water content by using a Frequency Domain Reflectometry(FDR) sensor that is economical, simple to measure, and portable among microwave methods. In addition, it is an experimental study to determine the accuracy of unit-water content using a single input residual model during deep learning to solve the limitations of the FDR sensor.

키워드 : 내구성, 단위수량, 고주파수분센서

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

1. 서론

현재 콘크리트 품질 관련으로 많은 관심이 증가하고 있으며, 품질에 영향을 미치는 요인 중 하나인 단위수량에 관한 관심도 증가하고 있는 실정이다[1]. 현재 콘크리트 및 모르타르의 단위수량을 측정하는 방법으로 단위용적질량법, 고주파가열법, 정정용량법 및 마이크로파법이 사용되고 있다. 그러나 마이크로파법을 제외하면 측정방법이 복잡하고 휴대성이 떨어지고 경제성이 좋지 않은 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 마이크로파법 중 경제성이 좋고 측정방법이 간단한 Frequency Domain Reflectometry(FDR) 센서를 통해 단위수량을 측정하고자 하며, FDR 센서의 한계점을 해결하기 위해 딥러닝 모델 중 단일 입력 잔차모델을 활용하여 단위수량을 측정하여 정확도를 평가하는 실험적 연구를 하고자 한다.

2. 실험 개요

표 1은 콘크리트 분체 비율에 따른 배합표시 시멘트 대비 플라이 애시와 슬래그 파우더 비율을 각각 10, 20, 30%로 치환하여 배합을 진행하였다. 본 연구에서 사용한 FDR센서의 측정 항목은 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)로 총 6개의 데이터가 출력된다. 단위수량을 측정하는 방법으로는 배합직후 콘크리트를 5mm 체를 통해 굵은골재를 제거하여 남은 모르타르에 FDR 센서를 삽입하여 측정되는 6개의 데이터가 매초 1개씩 1,000개의 데이터 약 16분간 측정을 진행한다. 측정된 데이터는 데이터 시트로 출력이 되며 데이터 시트를 딥러닝 단일 입력 잔차 모델을 통해 측정된 단위수량의 정확도를 평가한다.

1) 한양대학교, 스마트시티공학과 석사과정
2) 한양대학교, 스마트시티공학과 박사과정
3) 한양대학교, ERICA 건축학부 박사후연구원
4) 한양대학교, ERICA 스마트융합공학부 조교수
5) 한양대학교, ERICA 건축학부 교수, 교신저자(erclch@hanyang.ac.kr)

표 1. 분체 비율에 따른 인자별 배합표

Category	W/B* (%)	Water (kg/m ³)	Binder (kg/m ³)			Fine aggregates	Admixture
			OPC**	F/A***	S/P****		
F10:S10	54.4	185	272	34	34	1004	0.70
F10:S20			238	34	68	1003	
F10:S30			204	34	102	1001	
F20:S10			238	68	34	997	
F20:S20			204	68	68	995	
F20:S30			170	68	102	993	

* Water-to-Binder ratio
 ** Ordinary Portland Cement
 *** Fly Ash
 **** Slag Powder

3. 결과 및 분석

표 2는 FDR 센서를 통해 측정된 6개의 데이터 값의 평균 값이다. Temp 값을 제외하면 분체 비율이 증가함에 따라 측정된 값은 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 분체 비율이 증가함에 따라 유동성을 확보할 수 있어 그에 따른 측정 값은 감소되는 것으로 사료된다. 표 3과 그림 1의 경우 측정된 FDR 센서를 통해 측정된 단위수량의 정확도와 단위수량의 분포 그래프이다. 정확도는 ±1, 3, 5, 10 kg/m³의 오차범위를 두었으며 모든 인자 ±3 kg/m³ 일 때 85% 이상의 정확도를 확인할 수 있었으며 ±5 kg/m³ 일 때 99% 이상의 높은 정확도를 확인할 수 있었다. 측정 단위수량 분포의 경우 배합상의 단위수량인 185 kg/m³에 대부분의 값이 들어오는 것을 확인할 수 있었다.

표 2. 분체 비율에 따른 인자별 측정 데이터

Category	TDS (mg/L)	Epsilon (%)	Salinity (mg/L)	VWC (%)	EC (us/cm)	Temp (°C)
F10:S10	2,435	75.02	2,679	85.95	4,871	23.04
F10:S20	2,326	70.08	2,558	77.26	4,652	22.94
F10:S30	2,242	67.95	2,466	74.15	4,484	22.64
F20:S10	2,280	69.83	2,508	76.92	4,561	22.57
F20:S20	2,185	65.83	2,403	71.29	4,370	21.85
F20:S30	2,053	61.64	2,258	66.46	4,107	21.89

표 3. 분체 비율에 따른 인자별 단위수량 분석 정확도

Category Error	F10:S10 (%)	F10:S20 (%)	F10:S30 (%)	F20:S10 (%)	F20:S20 (%)	F20:S30 (%)
± 1kg/m ³	98.67	3.33	0.67	28.67	0.0	0.0
± 3kg/m ³	100.0	100.0	99.33	96.0	100.0	85.33
± 5kg/m ³	100.0	100.0	99.33	100.0	100.0	100.0
± 10kg/m ³	100.0	100.0	99.33	100.0	100.0	100.0

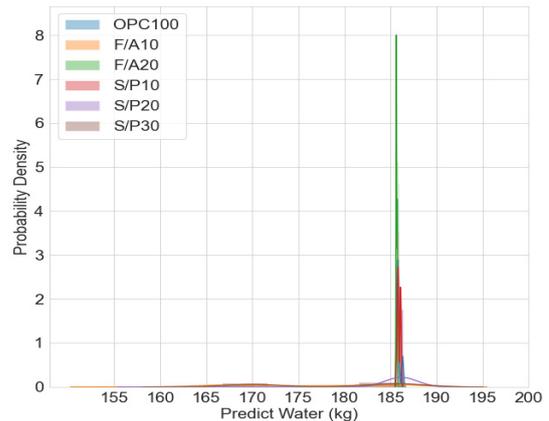


그림 1. 각 인자에 따른 단위수량 해석 분포 그래프

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 품질에 영향을 미치는 단위수량을 FDR 센서를 통해 측정하였다. 측정은 분체 비율에 따른 인자를 측정하였으며, 분체 비율이 증가함에 따라 측정 데이터는 감소하는 것을 확인하였다. 또한, 배합상의 단위수량과 측정된 단위수량을 비교하여 오차범위 내에 들어오는 정확도를 평가하였으며, 오차범위 ±3 kg/m³ 이내의 정확도가 85% 이상을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 분체 비율에 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. 박민용, 한민철. 실험실 수준에서 배합변수별 균질 않은 콘크리트 단위수량 실험방법의 추정오차 및 신뢰성 검토. 한국건설순환자원학회논문집. 2022. 제10권 1호. p. 101-110.