

고주파수분센서를 통한 고강도 콘크리트 단위수량 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of Unit-Water Content of High Strength Concrete by Frequency Domain Reflectometry Sensor

윤지원¹ · 이승엽² · 유승환³ · 양현민⁴ · 이한승^{5*}

Youn, Ji-Won¹ · Lee, Seung-Yeop² · Yu, Seung-Hwan³ · Yang, Hyun-Min⁴ · Lee, Han-Seung^{5*}

Abstract : In this study, unit-water content was measured using a frequency domain reflectometry(FDR) sensor that complements the problems of the existing unit-water content measurement method to evaluate the unit-water content affecting the workability, durability, and quality of high strength concrete. The experiment used the unit-water content of high strength concrete as a variable, and the accuracy and probability distribution of the unit-water content measured through deep learning were analyzed for the output value output through the FDR sensor. In the case of the unit-water content predicted by deep learning analysis, a high accuracy and high distribution of more than 93% were found within the error range of $\pm 10 \text{ kg/m}^3$. In the future, research is needed to secure high reliability by utilizing data obtained through experiments with various variables.

키워드 : 내구성, 단위수량, 고주파수분센서

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

1. 서론

현재 콘크리트 품질에 관해서 관심이 증가하고 있으며, 단위수량의 경우 품질에 영향을 미치는 중요한 요인이며 2022년 9월 1일부로 품질검사 항목에 추가되어 고시되었다. 현재 국내에서 콘크리트 및 모르타르의 시료를 통해 단위수량을 측정하는 방법으로는 고주파가열법, 정정용량법, 단위용적질량법 및 마이크로파법이 사용되고 있다. 그러나 이러한 방식 중 마이크로파법을 제외한 다른 방법의 경우 측정방법이 복잡하고 경제성 및 휴대성이 좋지 않다는 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 마이크로파법 측정 방식 중 경제성과 측정 난이도가 좋고 현재 토양의 수분함량 측정에 사용되고 있는 Frequency Domain Reflectometry(FDR) 센서를 통해 단위수량을 측정하고자 하며, FDR 센서의 단점을 보완하기 위해 딥러닝 모델 중 단일 입력 잔차 모델을 활용하여 단위수량 측정 및 정확도를 평가하는 실험적 연구를 하고자 한다.

2. 실험 개요

표 1은 고강도 콘크리트의 단위수량에 따른 배합표로 분체 중 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 60%, 플라이애시의 경우 10%, 슬래그 파우더의 경우 30%로 치환하여 배합을 진행하였다. 본 연구에서 사용한 FDR 센서의 측정 항목은 총 6개로 총 용존 고형물(Total Dissolved Solids, TDS), 단위용적수분함량(Volumetric Water Content measurement, VWC), 유전상수(Electric Conductivity measurement, EC), 유전율(Epsilon), 염분(Salinity) 및 온도(Temperature, Temp) 값으로 출력된다. 단위수량을 측정하는 방법으로는 KS F 4009에 의거하여 콘크리트를 믹싱 하고, 비빔 직후 콘크리트를 100mm×100mm×100 정방형 플라스틱 용기에 타설하고 고주파수분센서를 지면과 수직으로 약 70mm 깊이로 콘크리트에 삽입하여 단위수량 출력값을 측정한다. 측정되는 6개의 데이터는 매초 단위로 1개씩 1,000개의 데이터를 약 16분간 진행한다. 측정된 데이터는 데이터 시트로 출력되며 출력된 데이터 시트를 단일 입력 잔차 모델 코드에 적용하여 각 배합의 단위수량을 측정한다. 측정되는 단위수량의 경우 실제 단위수량과 비교하여 각 오차율에 관한 정확도를 평가한다.

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

표 1. 고강도콘크리트 단위수량에 따른 인자별 배합표

Category	W/B* (%)	S/a* (%)	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	Total			
h-w-160	34.0	48	160	282	47	141	470	804	877	0.85
h-w-165	35.1		165					797	870	0.80
h-w-170	36.2		170					791	864	0.75
h-w-175	37.2		175					785	857	0.75

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

3. 결과 및 분석

표 2는 FDR 센서를 통해 측정된 6가지 데이터를 통해 측정된 단위수량을 각 오차범위에 따른 정확도를 나타낸 표이다. 정확도는 ± 5, 10, 15, 20 kg/m³의 오차범위를 두었으며 오차범위 ± 5 kg/m³ 내의 경우 단위수량이 증가함에 따라 정확도가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 오차범위 ± 10 kg/m³ 내의 경우 모든 인자 93% 이상의 높은 정확도를 확인할 수 있었다. 그림 1은 표 2의 결과값을 도식화한 것으로 h-w160 인자를 제외하고 측정값의 분포가 밀집되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 측정된 단위수량의 평균값이 ± 5 kg/m³ 이내에 들어오는 것을 확인할 수 있었다.

표 2. 고강도 콘크리트 단위수량에 따른 인자별 배합표

Category	h-w-160	h-w-165	h-w-170	h-w-175
Error				
± 5 kg/m ³	54.55	90.24	95.24	98.05
± 10 kg/m ³	93.33	100.00	100.00	99.35
± 15 kg/m ³	100.00	100.00	100.00	99.35
± 20 kg/m ³	100.00	100.00	100.00	100.00

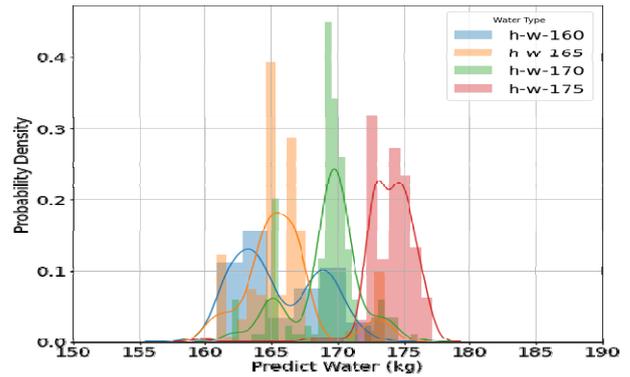


그림 1. 각 인자에 따른 단위수량 측정 분포 그래프

4. 결론

본 연구에서는 현재 대두가 되고 있는 콘크리트 품질에 영향을 미치는 요소인 단위수량을 고주파수분센서를 통해 측정하였다. 측정은 고강도 콘크리트의 단위수량에 따른 인자를 두어 측정하였으며, 배합상의 단위수량과 측정된 단위수량을 비교하여 오차범위 내에 들어오는 정확도를 평가하였다. 오차범위 ± 5 kg/m³ 이내의 정확도는 배합상의 단위수량이 증가함에 따라 정확도가 증가되는 것을 확인하였으며, ± 15 kg/m³ 이내의 정확도는 모든 배합 99% 이상의 정확도를 확인할 수 있었다. 오차범위가 작을때의 정확도를 더 높이기 위해 다양한 변수 및 인자에 관한 실험을 진행하여 데이터를 수집하고 추가적인 검증 및 평가를 진행할 필요가 있다고 사료 된다.

감사의 글

본 논문은 2022년 과학기술정보통신부 한국연구재단(과제번호:NRF-2022R1A2C1093253)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 박민용, 한민철. 실험실 수준에서 배합변수별 굳지 않은 콘크리트 단위수량 실험방법의 추정오차 및 신뢰성 검토. 한국건설순환자원학회논문집. 2022. 제10권 1호. p. 101-110.