

고주파수분센서(FDR)를 활용한 콘크리트 단위수량 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Evaluation of Concrete Unit-Water Content Using High Frequency Moisture Sensor (FDR)

이 승 업* 양 현 민** 이 한 승***
Lee, Seung-Yeop Yang, Hyun-Min Lee, Han-Seung

Abstract

The unit-water content has a major problem in concrete structures which leads to micro cracks on the concrete during drying time. Thus, the compressive strength and durability of the concrete structures are significantly reduced. Several techniques have been developed to measure the unit-water content in concrete structures such as heating drying, unit volume mass, and capacitance measurements. However, these techniques have problems in during measurement such as longer time, expensive and difficult in analysis of data. Frequency Domain Reflectivity (FDR) is one of the sensors which used to measure the water content. This method has several advantages including easy to measure, inexpensive, and capable of measuring moisture in real time. In this study, an attempt has been made to evaluate the unit-water content in concrete using the FDR sensor and interpret the data with deep learning method.

키 워 드 : 내구성, 단위수량, 고주파 수분 센서

Keywords : durability, unit-water content, high frequency moisture sensor

1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 내구성 문제 및 장수명화가 요구됨에 따라 단위수량 관리의 중요성이 대두되고 있는 실정이다. 기존 단위수량 측정 기법의 경우 다수의 연구 및 개발이 진행되었으나, 간편성과 소요시간, 정밀도 등의 문제점을 갖고 있다. FDR(Frequency Domain Reflectometry) 센서는 수분함량 측정에 사용되는 센서 중 하나이며, 측정방식이 간편하고 비용이 저렴하며 용적 수분을 실시간으로 측정할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 굳지 않은 콘크리트의 FDR 센서 데이터를 딥러닝 기법으로 해석하여 단위수량을 평가하고자 한다.

2. 실험 개요

표 1, 2는 단위수량 및 슬럼프, 공기량의 변화에 따른 FDR센서의 측정 데이터와 학습 및 검증에 사용된 데이터의 수 이다. 측정 항목은 TDS(Total Dissolved Solids), Epsilon, Salinity, VWC(Volumetric Water Content), EC(Electric Conductivity), Temp(Temperature)으로 총 6개이다. 측정방법은 배합 직후부터 콘크리트를 FDR 센서를 통해 1초의 간격으로 10분간 측정하였다. 또한, 딥러닝 기반 단위수량 해석에 밀도 변수가 미치는 영향을 확인하기 위해, 딥러닝 모델의 학습 데이터를 두 종류로 구분하여 실험을 진행하였다.

표 1. 수준별 FDR 센서 측정 데이터

구분	W (kg)	C (Kg)	G (Kg)	S (Kg)	Temp	EC	VWC	TDS	Salinity	Epsilon	Density
W 160	160	340	767	1052	21.32	2720	53.43	1360	1496	44.18	2317
W 170	170		756	1035	20.37	3478	55.43	1739	1912	47.58	2275
W 180	180		745	1021	19.95	3449	55.43	1724	1896	47.58	2277
W 190	190		734	1006	22.53	3907	68.33	1953	2148	63.4	2259
W 200	200		723	991	21.53	3932	63.41	1966	2162	58.54	2253
W 210	210		712	976	21.73	4581	75.77	2290	2519	69.13	2269

* 한양대학교 스마트시티공학과 박사과정

** 한양대학교 건축공학과 연구교수, 공학박사

*** 한양대학교 건축공학과 교수, 교신저자(ercleehs@hanyang.ac.kr)

구분	W (kg)	C (Kg)	G (Kg)	S (Kg)	Temp	EC	VWC	TDS	Salinity	Epsilon	Density
Slump 80	163	340	754	1033	24.09	3652	58.93	1826	2008	52.94	2281
Slump 120	170		746	1023	23.51	3782	58.15	1891	2080	51.82	2271
Slump 150	177		738	1012	23.48	3977	56.25	1988	2187	48.91	2267
Slump 183	183		732	1003	23.07	4178	64.95	2089	2297	60.18	2261
Slump 210	190		724	992	22.89	4250	64.92	2125	2337	60.18	2265
Air 3.0 %	185		729	1,000	23.48	3966	63.26	1983	2181	58.37	2278
Air 4.5 %		23.53			3816	63.41	1908	2098	58.54	2252	
Air 6.0 %		23.28			3922	66.25	1961	2157	61.48	2227	
Air 8.0 %		23.45			3984	65.68	1992	2191	60.92	2191	

표 2. 학습 및 검증 데이터 개수

항목	전체 데이터 수	학습 데이터 수	검증 데이터 수	테스트 데이터 수
단위수량	4781	2869	957	955
슬럼프	4263	2634	879	750
공기량	3723	2342	781	600

3. 결과 및 분석

그림 1은 딥러닝 모델의 결과 분포도 그래프이며, 각 그림에서 첫 번째, 두 번째 그래프는 데이터에 밀도가 포함되지 않았을 때의 수준 별 딥러닝 결과 분포도이고, 세 번째, 네 번째 그래프는 데이터에 밀도가 포함되었을 때의 수준 별 딥러닝 결과 분포도이다. 데이터에 밀도가 포함되지 않았을 때의 분산이 밀도가 포함 되었을 때 보다 큰 것을 볼 수 있으며, 이를 통해 딥러닝 해석에서 밀도 변수가 정확도 및 정밀도를 모두 향상시키는 것을 알 수 있다.

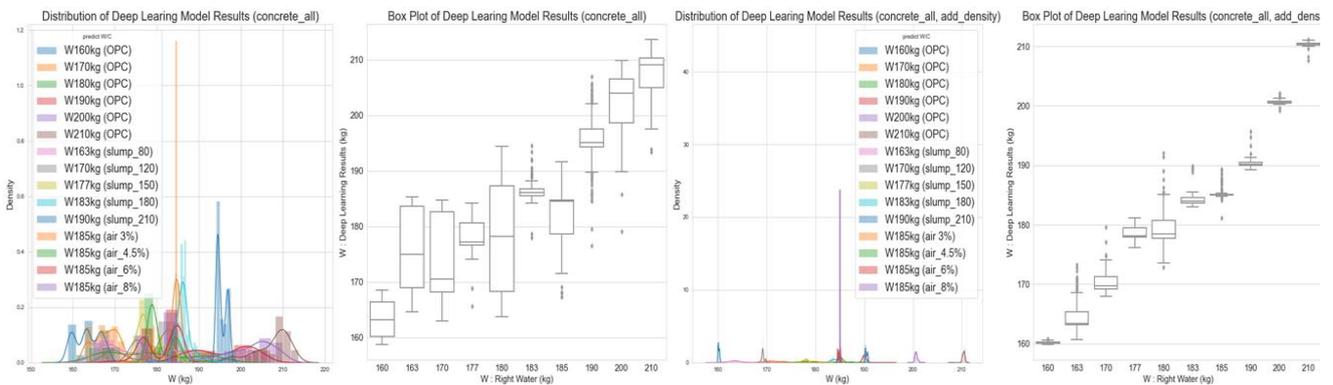


그림 1. 단위수량 해석 결과 분포 그래프

4. 결론

딥러닝 기반 단위수량 해석에 밀도 변수의 중요도를 확인하기 위해, 딥러닝 모델의 학습 데이터를 두 종류로 구분하여, 단위수량 측정에 관한 비교 실험적 연구를 실시하였다. 데이터에 밀도를 포함한 경우, ±5kg 내의 오차 범위를 가질 때 단위수량을 정확히 평가할 수 있었다. 또한 여러 실험 인자가 포함된 일반적인 상황에서도 데이터에 밀도를 포함한 정확도가 그렇지 않은 정확도보다 2.73%~39.85% 만큼 더 높았다. 이를 통해 딥러닝 기반 단위수량 해석에서 밀도 변수가 중요한 인자임을 확인할 수 있다.

Acknowledgement

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

참고 문헌

1. Mok Kyu Kim, An Experimental Study on the Estimation of Water Content of Concrete Using Microwave Sensor, journal of the korea concrete institute, pp545-546. (2018)
2. Skierucha W.; Wilczek A.; A FDR sensor for measuring complex soil dielectric permittivity in the 10-500 MHz frequency range. Sensors (Basel). 2010;10(4):3314-29. doi: 10.3390/s100403314. Epub 2010 Apr 5. PMID: 22319300; PMCID: PMC3274183.