

딥러닝과 머신러닝을 이용한 FDR 센서의 콘크리트 단위수량 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Concrete Unit-Water Content of FDR Sensor Using Deep Learning and Machine Learning

이승엽¹ · 윤지원² · 위광우³ · 양현민⁴ · 이한승^{5*}

Lee, Seung-Yeop¹ · Youn, Ji-Won² · Wi, Gwang-Woo³ · Yang, Hyun-Min⁴ · Lee, Han-Seung^{5*}

Abstract : The unit-water content has a very significant effect on the durability of the construction structure and the quality of concrete. Although there are various methods for measuring the unit-water content, there are problems of time required for measurement, precision, and reproducibility. Recently, there is an FDR sensor capable of measuring moisture content in real time through an apparent dielectric constant change of electromagnetic waves. In addition, various artificial intelligence techniques that can non-linearly supplement the accuracy of FDR sensors are being studied. In this study, the accuracy of unit-water content measurement was compared and evaluated using machine learning and deep learning techniques after normalizing the data secured in concrete using frequency domain reflectometry (FDR) sensors used to measure soil moisture at home and abroad. The result of comparing the accuracy of machine learning and deep learning is judged to be excellent in the accuracy of deep learning, which can well express the nonlinear relationship between FDR sensor data and concrete unit-water content.

키워드 : 내구성, 단위수량, 고주파 수분센서

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

1. 서론

최근 콘크리트 품질과 건설구조물의 장·단기적 내구성 확보에 대한 중요성이 대두되고 있다. 콘크리트의 품질과 단위수량은 반비례 관계이며, 콘크리트 단위수량을 증가시키면 유동성과 작업성이 향상되지만, 재료분리의 증가와 균일저항성 저하 등의 품질 저하 요인이 발생된다[1]. 기존의 단위수량 측정 기법은 측정 난이도와 휴대성, 소요시간, 정밀도, 현장에서의 재현성 등의 개선이 필요하다. 최근에는 전자기파의 명백한 유전 상수 변화를 통해 실시간 수분 함량을 경제적이고 신속하게 측정할 수 있는 FDR 센서의 활용과 FDR 센서의 정확도를 비선형적으로 보완할 수 있는 딥러닝 기법과 머신러닝 기법에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 본 연구에는 토양 수분 측정에 활용되고 있는 FDR(frequency domain reflectometry)센서를 이용하여 굳지 않은 콘크리트에서 확보된 데이터를 정규화 후 머신러닝과 딥러닝 기법을 적용하여 단위수량 측정 정확도를 평가하였다.

2. 실험개요

본 연구에서는 표 1과 같이 실험 수준별 FDR 센서의 측정 데이터를 단일잔차입력 모델의 딥러닝과 최소자승법 선형회귀분석 모델의 머신러닝을 적용하여 단위수량의 정확도를 평가하였다. 측정 방법으로는 콘크리트 배합 직후 센서를 삽입하여 1초 단위로 20분간 유전상수(EC), 단위용적수분함량(VWC), 용존 고용물(TDS), 염분(Salinity), 유전율(Epsilon) 및 온도(Temp)를 측정하여 1,000개의 데이터를 측정하였다. 측정된 데이터는 서로 단위가 다르기 때문에, 모델 학습에서 모든 데이터가 같은 정도의 중요도로 반영하기 위해 최소-최대 정규화(Min-Max Normalization)과정을 진행하였다.

표 1. 일반 및 고강도 콘크리트의 단위수량 수준별 배합표

Type		W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)								
				W	OPC	FA	SP	total	S	G	AE(%B)	AE(%B)
Nomal-Concrete	w-160	47,1	58	160	340	-	-	340	1,052	767	0,0060	0,70

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

	w-170	50.0		170					1,036	756	0.0040	
	w-180	52.9		180					1,021	745	0.0020	
	w-190	55.9		190					1,006	734	0.0015	
	w-200	58.8		200					991	723	0.0020	
	w-210	61.8		210					976	712	0.0030	
High Strength-Concrete	h-w-160	34.0	48	160	282	47	141	470	804	877	0.0140	0.85
	h-w-165	35.1		165					797	870	0.0100	0.80
	h-w-170	36.2		170					791	864	0.0060	0.75
	h-w-175	37.2		175					785	857	0.0040	0.75

3. 결과 및 분석

그림 1, 2와 표 2는 일반 및 고강도 콘크리트의 수준별 최소자승자법 선형회귀 모델의 머신러닝과 단일 입력 잔차 모델의 딥러닝 적용 단위수량 측정 정확도를 나타낸다. 오차 범위 $\pm 15, 10\text{kg}$ 의 경우 모든 수준에서 최소자승자법 선형회귀 모델과 단일 입력 잔차 모델의 정확도 차이는 근소했다. 하지만 오차 범위 $\pm 5\text{kg}$ 의 경우 일반 및 고강도 콘크리트에서 단일 입력 잔차 모델의 평균 정확도가 최소자승자법 선형회귀 모델의 비해 각각 9.93%, 9.92%의 높은 결과를 보였다.

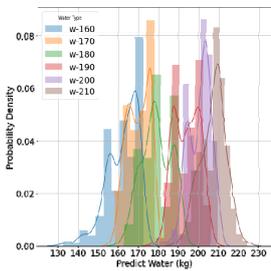


그림 1. 딥러닝 해석 단위수량 결과 분포 그래프

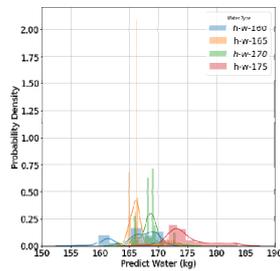


그림 2. 머신러닝 해석 단위수량 결과 분포 그래프

표 2. 수준별 머신러닝 및 딥러닝 해석 단위수량 분석 정확도

Type	Unit-Water content(kg)	Accuracy per error (%)					
		Machine learning			Deep learning		
		$\pm 5 \text{ kg}$	$\pm 10 \text{ kg}$	$\pm 15 \text{ kg}$	$\pm 5 \text{ kg}$	$\pm 10 \text{ kg}$	$\pm 15 \text{ kg}$
Normal-Concrete	160	39.5	78.57	96.22	66.81	88.23	100
	170	48.51	97.01	100	76.12	100	100
	180	44.96	82.95	98.45	34.88	77.52	93.02
	190	48.65	75.0	97.97	47.3	82.43	99.32
	200	56.69	96.82	99.36	68.70	96.81	98.73
High Strength-Concrete	210	53.69	82.55	97.99	57.72	81.88	97.99
	160	25.45	94.55	100	54.55	93.33	100
	165	91.46	100	100	90.24	100	100
	170	96.43	100	100	95.24	100	100
	175	85.06	100	100	98.05	99.35	99.35

4. 결론

본 연구에는 FDR센서를 이용하여 굳지 않은 콘크리트에서 확보된 데이터를 머신러닝과 딥러닝 기법을 적용하여 단위수량 측정 정확도를 평가하였다. 오차 범위 $\pm 5 \text{ kg}$ 에서 일반 및 고강도 콘크리트의 단위수량 측정 실험에서 단일 입력 잔차 모델의 평균 정확도는 최소자승자법 선형회귀 모델보다 높은 정확도를 보였다. 또한 단일 입력 잔차 모델의 단위수량 측정값이 최소자승자법 선형회귀 모델보다 밀집되어 있는 것을 확인할 수 있다. 단일 입력 잔차 모델이 최소자승자법 선형회귀 모델보다 FDR 센서 데이터와 콘크리트 단위수량 간의 비선형적인 관계를 잘 표현할 수 있기 때문에 정확도가 향상된 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고문헌

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