

모르타르의 물 배합 비율 검출 시스템 개발

정혜원¹, 최유나¹, 김선홍¹, 이한승², 최영진^{1*}

¹한양대학교 대학원 전자공학과, ²한양대학교 건축공학전공

{jhw5631, chldbsk2220, tjsghd101, ercleehs, cyj}@hanyang.ac.kr

Water Ratio Detection System Development of the Mortar

Hyewon Jeong¹, Yuna Choi¹, Sunhong Kim¹, Han-Seung Lee², and Youngjin Choi^{1*}

¹Electrical and Electronic Engineering, ²Architectural Engineering, Hanyang University

요약

콘크리트 건축물을 건설할 때 사용되는 모르타르의 단위 질량당 물의 양을 단위 수량이라 정의한다. 이는 건축물의 안정성과 완성도를 결정하는 중요한 요인으로 건설 구조물의 내구성과 직결된다. 특히, 단위 수량이 커지면 건축물이나 구조물의 외형 형태가 바뀌거나 무너짐, 주저앉음 등의 현상이 발생한다. 이를 위해 단위 수량을 정확하게 측정하기 위한 센서 시스템에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 에어메타법, 정전용량법 등이 적용되지만 이는 측정 방법의 복잡성과 소요 시간이 긴 문제점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 상업용 토양 수분 센서를 이용하여 모르타르 내 물 배합 비율인 단위 수량을 실시간으로 검출할 수 있는 시스템을 제안한다.

1. 서론

본 논문에서 모르타르의 단위 질량당 물의 양(W/M: Water/Mortar)을 단위 수량이라 정의한다. 이는 건축물의 안정성과 완성도를 결정하는 중요한 요인으로 건설 구조물의 내구성과 직결된다. 특히, 모르타르의 단위 수량이 크면 건축물이나 구조물의 외형 형태가 바뀔 뿐 아니라 무너짐이나 주저앉음의 현상이 발생한다. 이를 위해 단위 수량을 정확하게 측정하기 위한 센서 시스템에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다 [1].

대표적인 모르타르 단위 수량 측정법에는 에어메타법, 정전용량법 등이 적용되지만 이는 측정 방법의 복잡성과 소요 시간이 긴 문제점이 있다 [2]. 따라서, 본 논문에서는 쉽게 구입 가능한 토양 수분 센서를 이용하여 모르타르 단위 수량을 실시간으로 검출할 수 있는 시스템을 제안한다. 또한, 단위 수량 뿐 아니라 모르타르의 온도 및 전기전도도(EC: Electrical Conductivity)를 실시간으로 확인할 수 있도록 개발한다. 또한 건축 현장에서의 편리성을 위하여 블루투스 4.0 통신을 통해 사용자의 스마트폰에서 실시간으로 값을 확인할 수 있도록 개발한다.

II. 검출 방법

본 논문에서 제안하는 토양 수분 센서를 이용한 모르타르 단위 수량 검출 시스템은 그림 1과 같다. 센서는 모르타르 내 온도, 전기 전도도, 수분 함량을 획득하기 위한 토양 수분 센서(모델명: S-SOIL-MTEC-02A)와 측정 PCB 모듈, 9V 배터리로 구성된다. PCB 모듈에는 MCU(Arduino nano)와 센서의 데이터를 획득하기 위한 RS-485 통신모듈, 측정 결과를 출력하기 위한 OLED, 그리고 무선 통신을 위한 블루투스 모듈이 내장되어 있다.

단위 수량을 검출하기 위해 모르타르 600g을 기준으로 물의 양을 0부터 215g까지 3g씩 추가하여 데이터를 수집하였으며, 이를 5번씩 반복 측정하였다. 측정된 285개의 데이터는 그림 2와 같으며, 5번씩 반복 측정된 데이터의 평균을 식 (1)을 이용하여 모르타르 단위 수량으로 변환하였다. 여기서, x_{raw} 는 센서로 측정된 수분함량 데이터이고, $weight$ 는 모르타르의 양을 의미한다. 변환된 데이터는 다항식 곡선 피팅의 샘플 데이터로서 식 (2)와 같이 n 차 다항식으로 데이터 보간을 위해 표현되었다 [3].

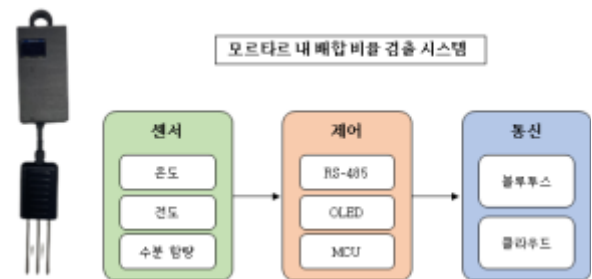


그림 1. 모르타르의 물 배합 비율 (단위 수량) 검출 시스템 구성도

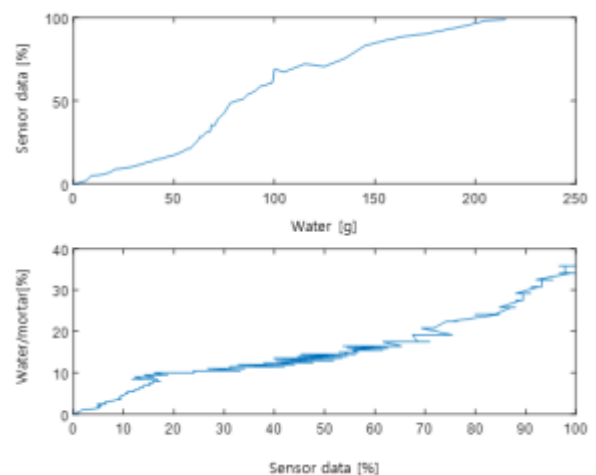
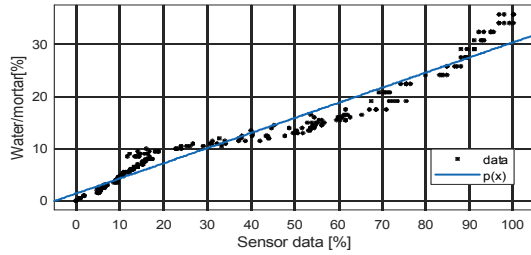


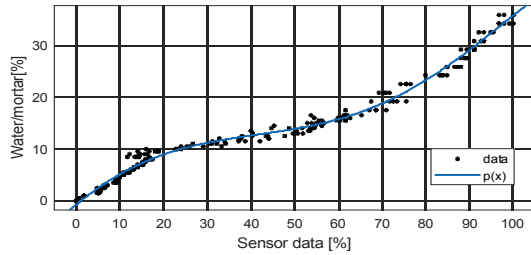
그림 2. 모르타르 단위 수량과 센서값 사이의 관계

$$x = \frac{x_{raw}}{weight} \times 100 \quad (1)$$

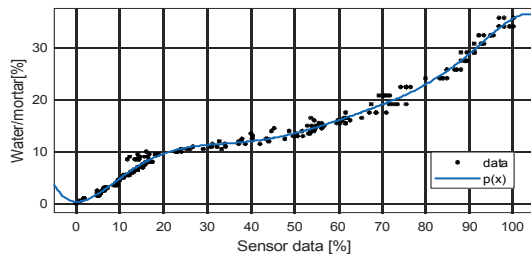
$$p(x) = p_0 + p_1x + p_2x^2 + p_3x^3 + \dots + p_nx^n \quad (2)$$



(a) first-order Polynomial



(b) fourth-order Polynomial



(c) seventh-order Polynomial

그림 3. 단위 수량(W/M)의 다항식 곡선 피팅 결과

III. 실험 결과

단위 수량의 다항식 곡선 피팅 결과는 그림 3과 같다. 다항식의 차수를 1부터 7까지 증가시켜 데이터와 피팅된 함수와의 오차를 비교함으로써 적절한 다항식의 차수를 선택한다. 다항식 차수별 오차의 root mean square error (RMSE)를 표 1에 정리하였다. 이에 따르면, 1차 다항식의 경우 RMSE가 2.207로 상대적으로 큰 오차를 보였고, 4차 다항식은 RMSE가 0.925, 7차 다항식은 RMSE가 0.826으로 가장 작은 오차를 나타냈다. 이에 따라 7차 다항식을 이용하여 데이터를 피팅하였다.

또한, 7차 다항식 피팅 곡선을 이용한 단위 수량 측정 방법은 1.8kg의 모르타르에 적용함으로써 센서 시스템을 검증하였다. 실험 결과는 그림 4와 표 2와 같으며, 모르타르 내의 센서 습도(VWC, Volumetric Water Content), 단위 수량(W/M), 온도(Temp), 전기전도도(EC)를 확인하였다. x축인 습도 데이터(VWC)가 42.49%일 때의 W/M은 12.26%가 출력되었고, VWC가 50.89%일 때는 W/M이 13.72%, VWC가 56.44%일 때의 W/M은 15.08%로 그림 3.(c)의 7차 다항식 피팅 결과와 유사한 결과가 확인되었다.

표 1. W/M 데이터와 다항식 곡선 피팅 결과의 RMSE 비교

n-order	RMSE
1	2.207
2	1.885
3	0.973
4	0.925
5	0.919
6	0.882
7	0.826

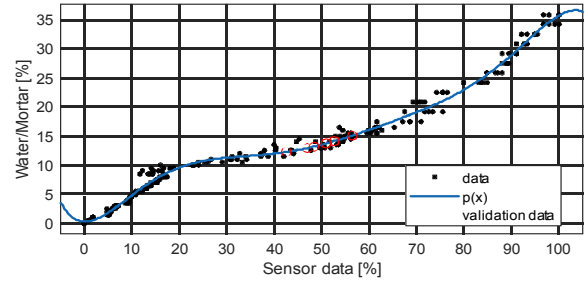


그림 4. 7차 다항식 곡선 피팅을 이용한 단위 수량(W/M) 검증

표 2. 토양 수분 센서를 이용한 단위 수량(W/M) 측정 결과

VWC[%]	W/M[%]	Temp[°C]	EC[uS/cm]
42.49	12.26	16.22	2795
46.92	12.93	15.68	3097
48.37	13.2	15.37	3299
50.89	13.72	15.6	3520
52.64	14.13	15.65	3782
56.44	15.08	15.6	4241

IV. 결 론

본 논문에서는 토양 수분 센서를 이용한 단위 수량 측정 센서 모듈을 제작하고, 센서의 습도 데이터를 기반으로 물과 모르타르 비율을 검출하는 센서 시스템을 제안하였다. 또한, 다항식 곡선 피팅 방식을 사용하여 다양한 차수의 다항식 간의 RMSE를 비교하고, 가장 오차가 적은 7차 다항식 피팅을 선택하였다. 이를 적용한 단위 수량 측정방법은 1.8kg의 모르타르를 통해 개발된 센서 시스템을 검증하였으며, 모르타르 내의 토양 수분 센서의 습도(VWC), 단위 수량(W/M)이 피팅 결과와 유사함을 확인하였다. 이를 바탕으로 후속 연구에서는 기계학습 기법을 접목시켜 정확하고 편리하게 모르타르 단위 수량, 전기전도도, 온도 등의 데이터 값을 찾는 것이 목표이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 교육부 및 한국연구재단의 4단계 두뇌한국21사업(4단계 BK21사업)과 과학기술정보통신부의 지능형건설자동화연구센터(ERC)의 지원을 받아 수행되었습니다 (NRF-2018R1A5A1025137).

참 고 문 헌

- [1] Wang, Wentao, et al. "Application of three self-developed sensors for monitoring the moisture content in sand and moratr." Construction and Building Materials 267 (2021): 121008.
- [2] Cho Yang-je, Yu Seung-hwan, Yang Hyun-min, Yoon Jong-wan, Park Tae-joon, Lee Han-seung. "An Experimental Study on the Evaluation of Unit-Water Content in Mortar Using High Frequency Moisture Sensor". Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference, vol. 21, pp.17-18, 2021.
- [3] Motulsky, Harvey J., and Lennart A. Ransnas. "Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review." The FASEB journal 1.5 (1987): 365-374.