

혼화재 혼입에 따른 콘크리트 배합요소 산정을 위한 DNN 기반의 예측모델 제안

Proposal of DNN-based predictive model for calculating concrete mixing proportions according to admixture

최주희¹ · 이광수² · 이한승^{3*}

Choi, Ju-Hee¹ · Lee, Kwang-Soo² · Lee, Han-Seung^{3*}

Abstract : Concrete mix design is used as essential data for the quality of concrete, analysis of structures, and stable use of sustainable structures. However, since most of the formulation design is established based on the experience of experts, there is a lack of data to base it on. Accordingly, in this study, the purpose of this study is to build a predictive model to use the concrete mixing factor as basic data for calculation using the DNN technique. As for the data set for DNN model learning, OPC and ternary concrete data were collected according to the presence or absence of admixture, respectively, and the model was separated for OPC and ternary concrete, and training was carried out. In addition, by varying the number of hidden layers of the DNN model, the prediction performance was evaluated according to the model structure. The higher the number of hidden layers in the model, the higher the predictive performance for the prediction of the mixing elements except for the compressive strength factor set as the output value, and the ternary concrete model showed higher performance than the OPC. This is expected because the data set used when training the model also affected the training.

키워드 : 콘크리트 배합, 심층인공신경망, 예측모델, 플라이애쉬, 고로슬래그

Keywords : concrete mixing proportions, Deep-Neural-Network, predictive model, fly-ash, blast-furnance slag

1. 서론

콘크리트 배합설계는 콘크리트의 품질 및 구조물의 해석, 지속가능한 구조물의 안정적인 사용을 위해 필수적인 자료로서 활용되며, 이러한 콘크리트 배합설계의 오류는 건설 단계 및 유지 단계에 있어 엄청난 피해를 가져올 수 있다. 하지만, 배합설계는 전문가의 경험을 기반으로 수립되기 때문에 이를 기반할 자료가 부족하며, 특히 콘크리트의 강도, 내구성, 작업성과 같은 성능 개선을 위한 혼화재 첨가 등의 요인으로 인하여 배합설계 시의 기준값 설정에 어려움을 겪고 있다[1].

따라서 본 연구에서는 인공지능 기법 중 다수의 인자들에 대하여 이들의 상관관계 심층분석이 가능한 DNN 기법을 사용하여 콘크리트 배합요소를 산정하기 위한 예측 모델을 구축하고 이의 예측 성능평가를 진행한다. 예측 모델 구축을 위한 데이터 세트로서 혼화재 유무에 따라 각각 OPC 콘크리트와 플라이애쉬, 고로슬래그 혼화재를 사용한 삼성분계 콘크리트로 구성하여 DNN 모델 구조에 따른 예측 성능평가를 통해 예측 모델 도출을 위한 방법론을 제안하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 데이터 세트는 표 1과 같으며, 혼화재 유무에 따라 각각 OPC와 삼성분계 콘크리트로 구분하여 각각의 분리된 모델에 사용되었다. 데이터는 W/B 20~72%의 레미콘 현장배합 데이터 및 15년간 국내 학회에 게재된 논문 데이터로부터 수집하였으며, 콘크리트 데이터 세트는 시멘트를 단일 사용한 OPC 콘크리트 데이터 374개, 플라이애쉬, 고로슬래그를 사용한 삼성분계 콘크리트 데이터 812개로 총 1,186개의 데이터로 구성하였다. 콘크리트 데이터는 6가지 배합요소 및 양생온도, 양생습도와 28일 압축강도를 포함한 총 9가지 인자로 구성하였다. 이 때, 압축강도를 제외한 8가지 인자를 DNN 모델의 입력값으로 사용하였으며, 압축강도를 출력값으로 사용하였다. 또한, 출력값을 실험실 내 수중양생 조건으로 출력하기 위하여 양생온도 및 습도 인자에 대하여 모델 학습 시 입력초기값을 각각 20, 100으로 설정하였다.

1) 한양대학교, 석사과정

2) 여주대학교, 교수

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

표 1. OPC 콘크리트 데이터 세트

구분	Mean	SD	Median	Min	Max
물 (kg/m ³)	174.08	16.41	173.5	113	212.9
시멘트 (kg/m ³)	394.15	93.21	378	228	800
잔골재 (kg/m ³)	777.02	96.21	791	275	1173
굵은골재 (kg/m ³)	890.08	181.51	926.7	168	1340
플라이애쉬 (kg/m ³)	-	-	-	-	-
고로슬래그 (kg/m ³)	-	-	-	-	-
양생온도 (°C)	19.86	0.92	20	13	20
양생습도 (%)	70.03	17.37	60	50	100
압축강도 (MPa)	40.21	16.68	35.165	10.6	92.4

표 2. 삼성분계 콘크리트 데이터 세트

구분	Mean	SD	Median	Min	Max
물 (kg/m ³)	173.8	12.41	171.0	124.3	210.0
시멘트 (kg/m ³)	214.6	32.27	206.0	66.0	408.0
잔골재 (kg/m ³)	838.1	69.19	841.0	600.0	1056.0
굵은골재 (kg/m ³)	915.9	43.56	921.0	765.0	1103.0
플라이애쉬 (kg/m ³)	56.2	14.37	56.0	20.0	180.0
고로슬래그 (kg/m ³)	72.8	15.61	72.0	30.0	196.0
양생온도 (°C)	20.0	0.74	20.0	5.0	20.0
양생습도 (%)	99.2	5.56	100.0	60.0	100.0
압축강도 (MPa)	21.9	5.70	20.4	16.1	80.0

본 연구의 DNN 모델은 학습 시 데이터 세트 및 은닉층 수를 변수로 한 총 4개의 모델(DNN3L-256N(OPC), DNN3L-256N(삼성분계), DNN5L-256N(OPC), DNN5L-256N(삼성분계))을 사용하였다. 모든 DNN 모델에 대하여 공통적으로 Batch size는 32, epoch는 2,000으로 설정하였으며, 최고의 성능을 보인 epoch에서 400을 넘어가거나 epoch가 2,000에 도달할 시 학습을 종료하도록 설정하였다. 모델의 예측성능은 평가지표 중 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)로 평가하였다.

3. 실험 결과

아래의 그림 1~4는 본 연구의 DNN 모델의 MAPE 그래프를 나타낸 것이다. 은닉층 수가 많아질수록 출력값으로 설정하여 학습을 진행한 압축강도를 제외한 배합요소에 대하여 예측성능이 높게 나타났으며, OPC보다 삼성분계 콘크리트 모델이 더 높은 예측성능을 나타내었다. 이는 OPC의 데이터 세트의 편차가 높았던 것이 영향을 미친 것으로 보인다.

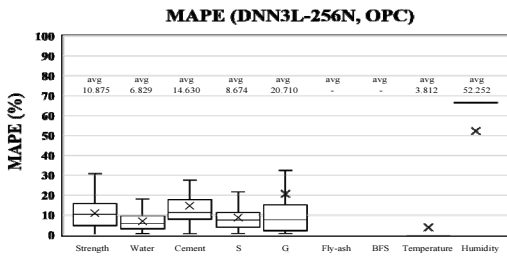


그림 1. 모델 예측성능 평가(DNN3L-256N, OPC)

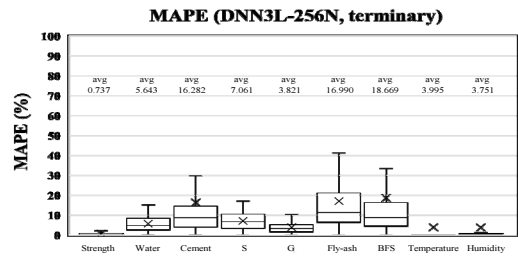


그림 2. 모델 예측성능 평가(DNN3L-256N, 삼성분계)

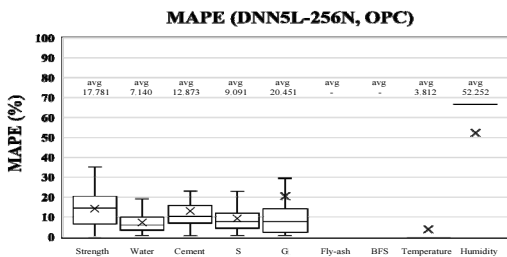


그림 3. 모델 예측성능 평가(DNN5L-256N, OPC)

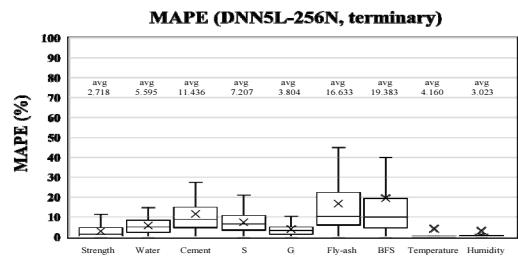


그림 4. 모델 예측성능 평가(DNN5L-256N, 삼성분계)

3. 결론

본 연구에서는 혼화재 사용에 따라 콘크리트 배합요소 산정을 위한 예측모델을 설계하여 이에 대한 예측 성능평가를 진행하였으며, 모델의 성능 향상을 위해 추가적인 데이터 수집 및 데이터 전처리를 통한 데이터 세트 개선이 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Patryk Ziolkowski 외 1인. Machine Learning Techniques in Concrete Mix Design. Materials. 2019. 제12권 8호. p. 1256~1271.