

# 인공신경망 기반 철근콘크리트 보의 최소 비용설계

소재민\*, 성종혁\*, 이규민\*, 이돈우\*, 이승재\*

\*한국기술교육대학교 디자인·건축공학부

e-mail: leeseung@koreatech.ac.kr

## Optimal Cost Design of Reinforced Concrete Beams Using ANN

Jae-Min So\*, Jong-Hyuk Seong\*, Kyu-Min Lee\*, Don-Woo Lee\*, Seung-Jae Lee\*

\*School of Industrial Design Engineering & Architectural Engineering, Korea  
University of Technology and Education

### 요약

본 연구는 철근콘크리트(RC) 보의 비용 최적화 설계를 위해 메타휴리스틱스 방법인 CSA (crow search algorithm)를 활용한 데이터를 인공신경망(ANN; artificial neural network)에 사용하는 방법을 제안한다. 기존 ANN을 사용한 설계 방식은 철근콘크리트 보의 강도만을 고려하여 제한적인 설계가 이루어졌으나, 본 연구에서는 ANN의 훈련데이터에 CSA를 활용하여 보의 강도와 비용이 고려된 설계방식을 제시한다. 기존 방식과의 비교 결과, CSA로 훈련데이터를 최적화시킨 ANN 모델이 약 10%의 비용 절감 효과를 나타냈다.

### 1. 서론

최근 인공지능의 발달은 산업계에 다양한 영향을 미치고 있다. 특히 ANN (artificial neural network) 모델 학습 방법의 발달로 더욱 복잡한 문제의 해결이 가능해졌으며, 기존 데이터를 학습하여 미래에 발생할 수 있는 사건이나 값을 예측해 주고 있다. 건축구조분야 또한 ANN 모델을 활용해 구조설계를 자동화시키려는 시도가 많이 진행되고 있는 추세이다.

철근콘크리트 복근보를 자동설계하는 가장 일반적인 방법은 구조역학 기반의 방대한 데이터를 만들어 ANN 모델을 훈련시켜 자동설계를 구현하는 것이다[1]. 하지만 이러한 방법은 구조 기준과 단순히 랜덤변수를 이용하여 데이터 세트를 생성하기 때문에 설계가 강도에만 국한된다. 하지만 엔지니어는 안전에 대한 고려뿐만 아니라 공사비의 절감에 대해 추가적인 고려가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 비용을 목적함수로 한 메타휴리스틱스 알고리즘으로 최적화된 복근보 데이터를 생성하고, 자동설계를 구현한다. 또한, 일반적인 훈련 방법의 결과와 비교하여 데이터 생성에 있어 비용에 대해 사전에 고려할 필요가 있음을 확인한다.

### 2. 연구방법

#### 2.1 비용 최적화가 고려된 복근보 데이터 생성

CSA (crow search algorithm)는 메타휴리스틱스 알고리즘

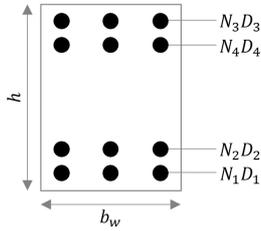
중의 하나로 까마귀의 먹이 채집 행동에서부터 모델링되었다 [2]. CSA는 다목적 최적화 문제해결에 우수한 성능을 보이기 때문에 다양한 제약을 동시에 고려해야 하는 공학설계 문제에 적합하다. CSA는 식(1)과 같이 탐색과 개척을 효율적으로 조화를 이루며 최적화를 수행한다.

$$x^{i,t+1} = \begin{cases} x^{i,t} + r_i \times fl^{i,t} \times (m^{j,t} - x^{i,t}) & r_j \geq AP^{j,t} \\ \text{a random position} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

복근보는 철근콘크리트 구조로서 보 단면 상부와 하부 모두에 철근이 배치되어 보의 인장력뿐 아니라 압축력에도 저항하여 더 많은 하중을 견디고 구조적 안정성을 높인다.

복근보 데이터는 설계상수와 설계변수로 나누어 수집한다. 설계상수는 콘크리트 압축강도( $f_{ck}$ ), 철근 항복강도( $f_y$ ), 피복두께, 전단철근 직경, 콘크리트 굽은골재 최대 사이즈, 콘크리트 소요비용( $C_c$ ), 철근 소요비용( $C_s$ ), 철근의 비중( $\gamma_s$ )이며, 사용자에 의해 사전에 결정된 값이다. 설계변수는 복근보의 직경( $b_w$ ), 높이( $h$ ), 그리고 각 철근 배근층의 철근개수( $N_n$ )와 직경사이즈( $D_n$ )이며, 각 변수가 채택할 수 있는 범위 내에서 무작위로 데이터를 결정한다.

복근보 단면 데이터에 사용되는 설계변수는 [그림 1]로 정의할 수 있으며, 각 데이터는 식(2)와 같이 표현할 수 있다. 여기서  $k$ 는 데이터의 수를 의미한다.



[그림 1] 복근보 단면 예시

$$Crows = \begin{bmatrix} b_w^1, h^1, N_1^1, N_2^1, N_3^1, N_4^1, D_1^1, D_2^1, D_3^1, D_4^1 \\ \vdots \\ b_w^k, h^k, N_1^k, N_2^k, N_3^k, N_4^k, D_1^k, D_2^k, D_3^k, D_4^k \end{bmatrix} \quad (2)$$

설계상수와 설계변수로 복근보가 정의되면 철근콘크리트 구조 기준(ACI318, 2005)에 따라 설계휨강도와 단위길이 당 복근보의 소요비용을 계산한다. 식(3)은 단위길이 당 복근보의 소요비용을 나타낸 식으로써 복근보의 단면적( $A_g$ ), 인장축철근 단면적( $A_s$ ), 압축축철근 단면적( $A_s'$ ),  $m^3$ 당 콘크리트 소요비용( $C_c$ ), ton당 철근 소요비용( $C_s$ ), 철근의 비중( $\gamma_s$ )을 이용한다. 또한 식(3)은 CSA의 목적함수로서 제약조건에 부합하지 않으면 페널티가 부과된다.

$$f_{Cost} = (A_g - A_s - A_s')C_c + (A_s + A_s')\gamma_s C_s \quad (3)$$

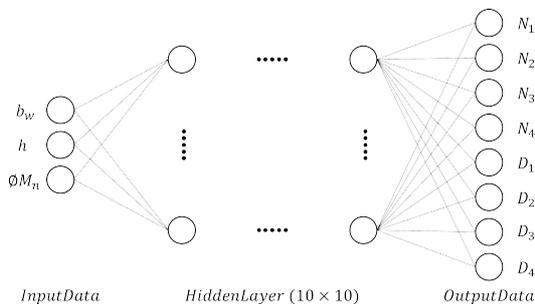
이때의 제약조건은 다음과 같다.

- 철근비는 최소, 최대 철근비 사이에 위치하도록 한다.
- 인장축 철근량이 압축축 철근량보다 크도록 한다.
- 설계휨강도가 소요휨강도보다 크도록 한다.

식(2)와 같은 무작위 데이터를 소요비용이 최소가 되도록 최적화를 진행해 가장 비용이 낮은 복근보 데이터를 추출한다. 추출한 데이터의 수는 제약조건인 소요휨강도의 수로 10kNm에서 1,000kNm까지의 수인 991개이다.

## 2.2 ANN모델 기계학습

추출한 991개의 데이터로 ANN 모델의 학습을 진행하였으며, MATLAB 2023a를 사용했다. 신경망을 구성하는 은닉층과 노드의 수는 각각 10으로 설정한다.  $b_w$ ,  $h$ , 설계휨강도를 Input data로 사용하고, 각 층 철근의  $N_n$ ,  $D_n$ 를 output data로 사용한다. ANN 훈련모델 과정을 도식화하면 [그림 2]와 같다.



[그림 2] ANN 훈련모델

## 3. 결과분석

기존의 방법 또는 비용 최적화가 고려된 데이터를 이용한 훈련 후 역설계를 수행한다. 역설계를 위해 복근보의  $b_w$ ,  $h$ , 설계휨강도를 250mm, 600mm, 400kNm으로 설정하였다. 총 1,000개의 데이터를 자동 생성했으며, 소요비용의 평균값을 비교하였으며, [표 1]에 정리하였다.

[표 1] 건설비용 평균값 비교

훈련데이터 분류	자동생성 데이터 (개)	평균 소요비용 (\$)	차이 (%)
기존방법(무작위)	1,000	15.29	9.81
비용 최적화(CSA)	1,000	13.79	

1,000개 데이터의 소요비용 평균값을 비교한 결과 CSA를 이용한 비용 최적화가 고려된 복근보의 소요비용이 기존의 무작위 방법에 비해 약 10% 감소하는 결과를 예측하는 것을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 연구는 CSA를 활용하여 소요비용이 최적화된 복근보 데이터를 생성하고, 이를 기반으로 ANN 모델을 훈련하여 자동설계를 구현했다. 결과적으로 기존의 무작위 데이터로 훈련한 모델에 비해 소요비용을 절감할 수 있음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 ANN 모델을 활용해 예측을 진행함에 있어 최적화된 훈련데이터를 사용하는 것이 비용 효율성을 향상시킬 수 있음을 의미한다.

## 감사의 글

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구사업임(No. RS-2024-00352968).

## 참고문헌

- [1] Won Kee Hong, "7 - Design of doubly reinforced concrete beams based on artificial neural network (deep learning) and regression models (machine learning)," Artificial Intelligence-Based Design of Reinforced Concrete Structures, A volume in Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Woodhead Publishing, 2023.
- [2] Alireza Askarzadeh, "A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm", Journal of Computers & Structures, Vol. 169, pp. 1-12, 2016.