

인공지능과 최적설계 Artificial Intelligence and Design Optimization

4차산업혁명 시대의 핵심 기술로 주목 받고 있는 인공지능은 컴퓨터공학 분야를 넘어서 다양한 공학 분야에서 활발하게 적용되고 있다. 본 글에서는 인공지능 분야 중에 하나인 딥러닝이 최적설계 연구에 어떻게 적용되고 있으며 어떤 방향으로 나아가고 있는지 살펴해보도록 한다. 기존의 최적설계 연구들은 전통적인 역학 모델 또는 시뮬레이션 기반으로 공학 문제들을 해결해 왔지만, 최근 딥러닝 연구들은 데이터 기반으로 복잡한 설계 문제들을 더 효율적으로 해결할 수 있음을 보여주기 시작하였다. 최적설계 분야는 딥러닝의 핵심인 최적화 및 통계적 방법론들을 오랜기간 연구해 왔기 때문에, 타 분야에 비해 딥러닝의 적용이 자연스러우며 다양한 접점을 가지고 있다.

1. 최적설계를 위한 딥러닝 활용법

딥러닝의 경우 학습하는 방법에 따라 크게 지도학습, 비지도학습, 강화학습의 3가지로 나눌 수 있으며, 이러한 분류별로 최적설계에 적용할 수 있는 방법의 예시들을 살펴보면, 표 1과 같이 정리할 수 있다.

대표적인 최적설계 프로세스를 단계별로 살펴보게 되면, 그림 1과 같이 나눌 수 있다. 이는 (1) 목적함수, 설계변수, 제약조건들을 정식화하여 설계문제를 정의한 후, (2) 실험계획법(DOE)과 시뮬레이션을 통해 메타모델(근사모델)을 구축고, (3) 최적화 알고리즘을 통해 목적함수를 최대화 또는 최소화하는 설계 솔루션을 찾는 단계로 크게 나눌 수 있다.

표 1 딥러닝의 분류와 최적설계 적용 예시

종류	목적	대표 모델	최적설계 적용 방법 예시
지도학습	분류(Classification), 회귀(Regression)	DNN, CNN, RNN	· 설계성능 예측 (메타 모델링) · 설계타당성 검증 (제약조건)
비지도학습	군집화(Clustering), 차원축소(Dimensionality Reduction) 및 생성(Generation)	AE, VAE, GAN	· 설계변수 파라미터화 · 설계변수 차원 축소 · 잠재공간에서 최적화 수행 · 설계성능 예측 (메타 모델링) · 설계조건과 최적설계 매핑 (End-to-End Learning) · 학습용 설계데이터 생성
강화학습	순차적 Action 학습	DQN, A3C, PPO	· 최적화 알고리즘



강 남 우

숙명여자대학교 기계시스템학부 교수

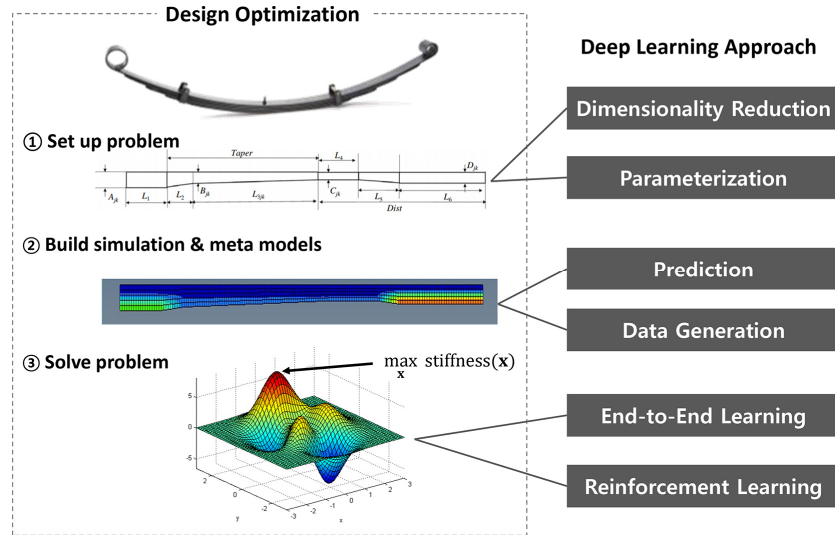


그림 1 최적설계 프로세스 단계별 딥러닝 적용 방법

단계별로 딥러닝의 대표적인 활용가능성을 보면 다음과 같다.

첫째, 형상 최적화의 경우 규칙 기반의 파라미터화가 필요하고, 복잡한 설계 문제의 경우 다량의 설계변수를 동시에 최적화하기 어려운 단점이 있다. 이 경우 딥러닝의 생성 모델(Generative Model)을 이용하여 고차원의 설계변수들을 저차원의 잠재공간(Latent Space)으로 매핑할 수 있으며, 저차원에서 쉽게 파라미터화가 가능하다. 또한 저차원으로 매핑된 설계변수들은 고차원에서 보다 최적화가 용이하다는 장점을 갖게 되어, 잠재공간에서 최적화를 수행하는 연구들이 진행되고 있다.

둘째, 전통적인 메타모델링 기법들은 고차원의 입력값을 가지는 모델을 근사화하기 어려웠지만, 딥러닝은 데이터가 충분할 경우, 복잡한 해석결과를 근사화한 메타모델을 만들 수 있다.

셋째, 학습 데이터가 부족한 경우 설계 데이터를 생성하기 위해 딥러닝의 생성모델이 사용될 수 있다. 단, 공학적으로 의미있는 데이터를 생성하기 위해서 도메인 지식이 필요하며, 경우에 따라 역학 모델과 딥러닝의 결합이 필요하다.

넷째, 기존의 반복적인 최적화 알고리즘을 가속화하거나, 설계 조건과 최적설계 결과를 한 번에 매핑하는 End-to-End Learning을 활용하는 사례가 늘고 있다.

마지막으로, 전통적인 최적설계의 경우 주어진 설계조건에서 하나의 최적해를 찾기 때문에 설계조건이 바뀌면 다시 최적화를 해야 한다는 단점이 있다. 하지만 강화학습

의 경우, 다양한 설계조건에 대해서 유연하게 최적화하는 방법을 학습할 수 있다. 비록 학습에는 시간이 오래 걸리지만, 학습을 마친 후에는 설계조건이 바뀌어도 바로 최적해를 찾을 수 있다.

2. 딥러닝 기반 최적설계 연구분야

딥러닝이 적용되고 있는 최적설계 연구의 대표적인 분야를 살펴보면 다음과 같으며, 특정 한 분야가 아닌 여러 분야에 복합적으로 적용되고 있다.

- 위상최적화, 컴퓨터 이용 공학 (CAE), 메타모델링, 재료설계, 컴퓨터 이용 설계 및 생산 (CAD/CAM), 형상 파라미터라이제이션, 강화학습을 통한 설계, 디자인 선호도 학습, 제너레이티브 디자인 등

특히 위상최적화는 딥러닝이 가장 많이 적용되고 있는 분야 중 하나이다. 위상최적화는 설계영역 내에서 재료의 최적화된 분포를 결정하는 방법론이며, 재료의 분포 결과가 이미지 픽셀 개념과 유사하다. 이로 인해 최근 Google에서도 딥러닝을 활용한 위상최적화 논문을 발표했다(Hoyer et al., 2019). 다음으로 CAE 해석을 통해 데이터를 얻고 딥러닝으로 메타모델을 만드는 연구들이 가장 많이 진행되고 있다. 딥러닝을 메타모델링 기법의 하나로 이해하는 것이 딥러닝을 적용하는 가장 쉬운 접근법이기 때문

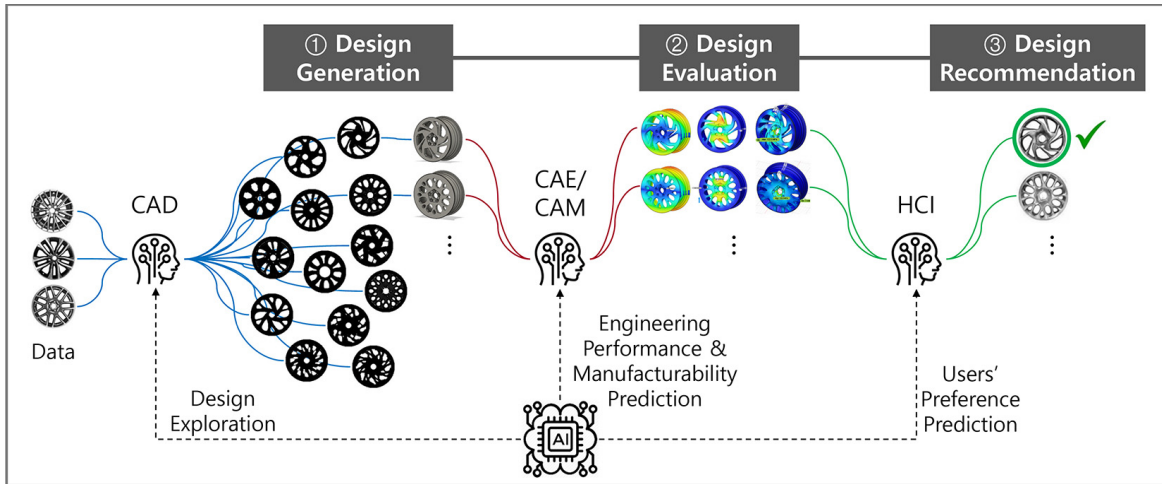


그림 2 인공지능 기반 제너레이티브 디자인 (출처: www.smartdesignlab.org)

이다. 또한 최적설계에 필요한 각각의 요소들을 모두 융합하여 인공지능 기반의 설계자동화를 추구하는 제너레이티브 디자인 (Generative Design) 연구가 주목 받고 있다 (Oh et al, 2019).

3. 제너레이티브 디자인

인공지능 기반의 제너레이티브 디자인은 인공지능이 스스로 설계안의 생성, 평가, 추천에 이르는 전 과정을 수행하는 연구이다. 그림 2와 같이 나타난 세단계별 사용되는 핵심 인공지능 기술은 다음과 같다.

- 설계 생성 단계: 과거설계 데이터를 기반으로 심미적 이면서 동시에 공학적으로 최적화된 설계안을 다량으로 생성하는 인공지능 기술
- 설계 평가 단계: 생성된 설계안들의 독창성, 성능, 제조성 및 제조비용 등을 평가/예측/비교할 수 있는 인공지능 기술
- 설계 추천 단계: 평가된 설계안들에 대한 설계자 혹은 고객의 선호도를 예측하여 우수한 설계안 또는 그룹을 추천하고, 생산으로 자동 연결하는 인공지능 기술

4. 한계점과 연구방향

인공지능 기반 최적설계 연구의 가능성에도 불구하고,

학습 데이터의 부족 문제는 여전히 큰 한계점으로 존재한다. 기업에서도 데이터 구축의 필요성을 예측하지 못했기 때문에, 양질의 설계 및 해석 데이터가 부족한 상황이다. 이로 인해 도메인 지식 기반의 데이터 생성 방법에 대한 연구가 더욱 중요해질 것으로 예상되며, 앞으로 저장하게 될 데이터 표준화에 대한 고민이 필요하다.

마지막으로 인공지능-최적설계 융합연구의 핵심은, 활용 분야의 도메인 지식과 빠르게 발전하는 인공지능 기술을 올바르게 연결해 주는 파이프라인 개발이다. 이를 위해서는 인공지능과 도메인을 동시에 이해하는 엔지니어가 의미있는 데이터를 수집/생성 및 전처리를 하여, 인공지능이 학습하기 좋은 문제를 만들수 있어야 한다. 문제를 올바르게 정의해야만 인공지능이 올바른 해답을 찾을 수 있기 때문이다.

참고문헌

1. Hoyer, S., Sohl-Dickstein, J., & Greydanus, S. (2019). Neural reparameterization improves structural optimization. arXiv preprint arXiv:1909.04240.
2. Oh, S., Jung, Y., Kim, S., Lee, I., & Kang, N. (2019). Deep generative design: Integration of topology optimization and generative models. Journal of Mechanical Design, 141(11), 111405. 