

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

다중재료 구조물의 최적설계를 위한 BESO 기반의 MATLAB 위상최적화 코드 개발

Development of a BESO-Based Topology Optimization Code in MATLAB for Multi-Material Structural Design

○김 홍 인* 정 동 혁**
Kim, Hongin Jung, Donghyuk

키워드 : 다중재료, 위상최적화, BESO, 유한요소해석

Keywords : Multi-material, Topology optimization, BESO, FEM

기존 BESO 기법은 단일재료만을 가정하여 실제 구조물의 다중재료 물성에 따른 거동을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 본 연구는 Li & Xie(2021)의 연구를 토대로, Soft-kill BESO를 확장한 다중재료 위상최적화 알고리즘을 MATLAB으로 구현하였다. 알고리즘은 FEM 기반 주응력 합을 통해 인장·압축 지배 영역을 구분하여 적절한 재료를 할당하며, von Mises 응력 기반 재료 활용도를 활용해 비효율적 요소를 제거하고 효율적 요소를 유지·추가한다. 또한 체커보드 억제를 위해 변수별 필터 반경과 이력 평균 기법을 적용하였다. 본 연구는 다중재료 구조물의 효율적 재료 배치와 구조적 안정성 확보를 동시에 달성 가능한 해석적 기법을 제시하는 것을 목적으로 한다.

최근 프로그래밍 기법이 발전하고 컴퓨터 성능이 향상됨에 따라, 건설 및 구조공학 분야에서 최적화 기반 설계가 주목받고 있다. 이러한 위상최적화를 적용한 설계는 구조적인 효율성을 증대시키고, 재료의 사용을 절감할 수 있다. 연속체 구조물의 위상최적화는 1988년 Bendsoe와 Kikuchi의 균질화 기법에서 출발하였다. 위상최적화는 ESO(Evolutionary Structural Optimization), SIMP(Solid Isotropic Material with Penalization), BESO(Bi-directional ESO)와 같은 다양한 기법으로 발전하였다. 이 중 BESO 기법은 최적화 형상의 경계가 뚜렷하다는 장점이 있어, 명확한 최적화 형상을 도출해낼 수 있다.

기존의 연구에서는 인장과 압축 상태에서 동일한 재료적 물성을 적용하는 단일재료 기반의 위상최적화 기법이 주로 사용되었다. 그러나 실제 구조물은 철근과 콘크리트와 같이 다중재료(multi-material)가 혼합되어 사용되므로, 각

재료는 인장과 압축에서 상이한 거동을 보인다. 따라서 이러한 현실적 거동 차이를 반영한 다중재료 최적화 기법의 필요성이 대두되고 있다. 이에 Li & Xie(2021)는 BESO 기법을 활용한 von Mises 응력 기반 다중재료 위상최적화 알고리즘을 제안하였다. 본 연구에서는 MATLAB을 활용하여 제안된 알고리즘을 구현하였다. MATLAB은 유한요소해석(FEM)과 최적화 알고리즘 구현에 사용되는 대표적인 프로그램이다. MATLAB으로 작성된 Huang & Xie의 Soft-kill BESO 코드는 단일재료 최적화의 대표적인 코드로, 본 연구에서는 해당 코드를 기반으로 하여 다중재료 위상최적화 알고리즘을 적용 및 확장하였다.

제안된 알고리즘은 각 요소에서의 주응력 합을 기준으로 인장과 압축 지배 영역에 적절한 재료를 배치한다. 또한 요소의 von Mises 응력을 기반으로 계산된 재료 활용도(material utilization)를 평가 지표로 하여, 활용도가 낮은 요소는 제거하고, 높은 요소는 유지하거나 추가하는 과정을 통해 최적의 구조형상을 생성한다. 이 과정에서, 연속적 변수인 주응력의 합과 재료활용도는 체커보드(checker board) 패턴이 발생할 수 있기 때문에, 각각의 변수에 대하여 개별적인 필터 반경을 적용한 필터링과 이력 평균(historical average) 기법을 적용하였다. 본 연구는 다중재료 구조물의 효율적인 설계를 위한 위상최적화 도구로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후, 기존 연구와 본 알고리즘의 결과를 분석하여 제안된 기법의 신뢰성을 더욱 강화할 예정이다.

참고문헌

- Huang, X., & Xie, M. (2010). Evolutionary topology optimization of continuum structures: methods and applications. John Wiley & Sons.
- Li, Y., & Xie, Y. M. (2021). Evolutionary topology optimization for structures made of multiple materials with different properties in tension and compression. Composite Structures, 259, 113497.

* 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정

** 고려대학교 건축사회환경공학부 부교수, 교신저자

(Corresponding author : School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, jungd@korea.ac.kr)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00357544).