

요 지

열속 조절을 위한 멀티스케일 위상최적설계

박 효 근

한양대학교 미래자동차 공학과

메타물질(metamaterial)은 이종재료의 인위적인 기하학적 구조, 조성비, 그리고 배열을 통해 거시적인(macroscopic) 관점에서 자연에서 발견되지 않은 물성치나 특성을 지니도록 설계된 물질로 열공학, 광학, 전자공학 등 여러 분야에 걸쳐 연구되고 있다. 열속 조절(heat flux manipulation)장치는 이런 메타물질의 열공학 연구분야 중 하나로 재료의 합리적인 배열을 통해 외부 열원으로부터 열속을 방지, 집중시키거나 방향을 바꾸는 등의 처리가 가능한 장치를 의미하며, 전자장치의 방열 모듈, 열전발전소자의 성능 향상, 태양열 에너지의 이용 효율 향상 등 다양한 분야에서 활용할 수 있다.

위상최적화 기법은 주어진 해석조건과 제약조건을 만족하면서 설계자가 원하는 최적의 성능을 얻을 수 있는 설계안을 얻을 수 있어 메타물질의 목적 물성치를 얻기 위한 설계에 많이 사용되고 있다. 그러나 위상최적설계에서 요소의 물성치는 등방성으로 표현되며 열속과 같이 물질에 이방성에 따라 그 크기와 방향이 크게 변화하는 물리량을 조절하는데 한계가 있다. 또한 미세구조의 사이즈를 고려한 위상최적설계 결과를 도출하기 위

해 요소 수를 과도하게 늘리게 되면 계산시간이 늘어나는 단점이 있다.

멀티스케일 위상최적화(multiscale topology optimization) 기법은 설계영역을 거시적인 관점과 미시적인(microscopic) 관점으로 구분하여 최적의 형상과 그 형상을 이루는 최적의 미세구조를 동시에 구할 수 있는 기법이다. 거시영역 요소의 물성은 균질화법(homogenization method)을 통해 계산된 미세구조의 유효물성으로 표현되고 이는 단일 스케일 위상최적화 기법의 물성표현보다 자유로운 물성 표현이 가능하기 때문에 열속 조정 장치의 설계에 적합하다. 또한 설계영역과 해석영역이 동일하지 않은 문제에 대해 설계영역을 미세구조 요소로 세분화가 가능하여 해석영역에 사용하는 요소를 줄일 수 있어 단일 스케일 위상최적설계 대비 계산 효율성이 높다.

따라서 본 연구는 멀티스케일 위상최적설계 기법을 통해 기존 단일 스케일 위상최적설계를 통해 얻을 수 없었던 새로운 설계안을 제시한다. 열속 조정 예제로 외부 열속이 존재하는 상황에서 목적영역의 열속의 방지(shielding), 집중(concentrating), 회전(rotating) 세가지 상황에 대해 각각 최적설계안을 도출하였고 멀티스케일 위상최적설계의 자유로운 물성 표현에 따른 성능 향상과 해석영역 요소 감소를 통한 계산속도 절감효과를 단일 스케일 위상최적화 설계안의 목적함수와 계산시간의 비교를 통해 확인하였다.