

차량 후드 보강재의 신뢰성 기반 위상 최적화

박재용¹⁾ · 박재용^{*2)} · 한석영³⁾한양대학교 기계공학과^{1,2)} · 한양대학교 기계공학부³⁾Reliability-Based Topology Optimization of
Automotive Hood's ReinforcementJae-Yong Park¹⁾ · Jae-Yong Park^{*2)} · Seog-Young Han³⁾^{1,2)} Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seungdong-gu, Seoul 133-791, Korea³⁾ School of Mechanical Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seungdong-gu, Seoul 133-791080, Korea

Abstract : Reliability-based topology optimization (RBTO) is to get an optimal topology satisfying uncertainties of design variables. In this study, reliability-based topology optimization method is applied to the inner reinforcement of vehicle's hood based on BESO. A multi-objective topology optimization technique was implemented to obtain optimal topology of two models with different curvature and a model with out panel for a vehicle's hood simultaneously considering the static stiffness of bending and torsion and natural frequency. To evaluate the obtained optimal topology by RBTO, it is compared with that of DTO of the inner reinforcement for two models with different curvature. It is found that the more suitable topology is obtained through RBTO than DTO even though the final volume of RBTO is a little bit larger than that of DTO. From the result, multiobjective optimization technique based on the BESO can be applied very effectively in topology optimization for vehicle's hood reinforcement considering the static stiffness of bending and torsion as well as natural frequency. And, it is also found that the optimal topology of reinforcement with outer panel is similar to that of reinforcement without outer panel.

Key words : BESO(양방향 진화적 구조최적화), PMA(목표성능치 접근법), RBTO(신뢰성 기반 위상 최적화)

1. 서 론

두께에 비해 상대적으로 면적이 넓은 판 구조물은 판에 수직인 하중과 진동에 매우 취약한 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위해 판 구조물에는 보강재를 사용하게 되며, 설계자는 설계 초기에 보강재의 위치, 즉 위상을 결정하여야 한다. 또한 한 가지 이상의 조건을 함께 고려해야 하는 경우 다중목적 최적화 기법을 사용해야 같은 경량

화를 목표로 하였을 때 더 효율적인 성능을 기대할 수 있다.⁽¹⁻³⁾

본 연구에서는 제약조건을 벗어날 경우에도 최적 위상을 구할 수 있는 BESO기법⁽⁴⁾을 기반으로 곡률을 가진 자동차 후드 보강재에 대하여 위상 최적화를 수행하였으며, 굽힘과 비틀림, 고유진동수의 영향을 고려하기 위해 각각의 가중치를 도입하여 다중 목적 최적화를 수행하였다. 목표성능치 접근법(PMA)을 사용하여 신뢰성 기반 위상 최적화를 수행하였고, 그 결과를 결정론적 위상 최적화의 결과와 비교하여 논하였다. 굽힘, 비틀림, 고유진동수의 유한요소해석에는 ANSYS를 이용하였고 신뢰성 해석과 BESO기법의 적용은 MATLAB을 사용하였다.

^{*2)} 발표자, bimmer@hanyang.ac.kr

³⁾ 교신저자, syhan@hanyang.ac.kr

2. 다중목적 민감도 수

BESO기법을 이용한 위상 최적화를 위해 굽힘, 비틀림 그리고 고유진동수를 동시에 고려한 민감도 수를 구하여야 하며, 이를 얻기 위해 각각의 문제에 대하여 정규화(normalize)된 정적 및 동적 민감도 수에 가중치를 주어 다중목적 민감도 수를 다음 식과 같이 정의하였다.⁽¹⁾

$$\alpha_{i,multi}^e = \lambda^s \left(\frac{\alpha_{i,Ns}^e}{sf_{static}} \right) + \lambda^d \left(\frac{\alpha_{i,Nd}^e}{sf_{dynamic}} \right)$$

3. 후드 보강재의 위상 최적화

곡률을 가진 자동차 후드에 대한 유한요소 모델링을 구성하였으며, 사용된 재료물성치는 $E = 200GPa$, $\nu = 0.3$, 밀도 $\rho = 7860kg/m^3$, 두께 $t = 3mm$ 이다. 구속조건으로는 양끝단과 후드 앞 중앙부의 체결부를 고정하였다. 굽힘 강성 해석의 경우, 정중앙에 수직하중 100 N을 주었으며, 비틀림 강성 해석의 경우, 정면부 모서리의 양쪽 끝에 수직으로 상반되는 힘 50N을 가하였다. 설계영역은 총 80×66 의 사각형 요소로 나누어 위상 최적화를 위하여 BESO기법⁽⁴⁾을 적용하였다.

정적 다중목적 민감도 수의 가중치 λ^s 와 정적 다중목적 민감도 수를 구성하는 굽힘과 비틀림의 가중치 λ_b, λ_t 그리고 동적 다중목적 민감도 수의 가중치 λ^d 를 변화 시키면서 신뢰성 기반 위상 최적화를 수행하여 그 결과를 결정론적 위상 최적화의 결과와 비교하였다. 굽힘 및 비틀림의 변위 제약조건은 가중치에 의한 위상의 변화가 잘 나타나도록 $\delta_{allow,bend}$ 는 $1.5mm$, $\delta_{allow,torsion}$ 는 $2mm$ 로 설정하였고, 고유진동수 ω_{allow} 는 첫 번째 고유진동수가 $12Hz$ 이상이 되도록 하였다. 정적해석에서는 탄성계수, 하중 그리고 두께를 동적해석에서는 탄성계수를 확률변수로 고려하였고, 확률변수는 각각 정규분포 특성을 가지며 확률적으로 서로 독립적이며 평균값에 10%의 분산을 갖는다고 가정하였다. 목표 신뢰도 지수는 파괴확률 $P_f = 0.125\%$ 를 가지는 $\beta_t = 3$ 으로 정의하였다.

결정론적 위상 최적화에서의 목적함수인 체적을 살펴보면 $\lambda_b, \lambda_t, \lambda^s$ 와 λ^d 를 똑같이 고려했을 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

또한, λ_d 의 값이 커질수록 최적 위상에 대한 고유진동수의 값이 증가하는 것을 확인하였으며, 이를 통하여 각 가중치에 의한 위상 최적설계가 잘 이루어졌음을 알 수 있었다.

4. 결 론

- 1) BESO기법을 사용하여 안정적인 위상최적화를 수행하였음을 확인하였다.
- 2) 제안된 다중목적 민감도 수를 이용하여 자동차 후드 보강재의 위상 최적화가 효율적으로 이루어졌음을 알 수 있었다.
- 3) 다중목적 민감도 수와 BESO기법을 이용하여 목표 신뢰도 지수를 만족하는 안전한 위상을 얻을 수 있었다.

References

- 1) Choi, S. H., Kim, S. R., Park, J. Y. and Han, S. Y., "Multi-Objective Optimization of the Inner Reinforcement for a Vehicle's Hood Considering Static Stiffness and Natural Frequency," IJAT, Vol. 8, No. 3, pp. 337-342, 2007.
- 2) Tu, J., Choi, K. K. and Park, Y. H., "A New Study on Reliability-Based Design Optimization", J. of Mechanical Design, Vol. 121, pp. 557-564, 1999.
- 3) Lee, J. O., Yang, Y. S. and Ruy, W. S., "A Comparative Study on Reliability-index and Target-Performance-Based Probabilistic Structural Design Optimization", Computers and Structures, Vol. 80, pp. 257-269, 2002.
- 4) Hung, X. and Xie, Y. M., "Convergent and Mesh-Independent Solutions for the Bi-Directional Evolutionary Structural Optimization method", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 43, pp. 1039-1049, 2007.