

# 차량용 토크암과 브라켓의 신뢰성 기반 형상 최적화

오영규<sup>1)</sup> · 박재용<sup>\*2)</sup> · 한석영<sup>3)</sup>

한양대학교 기계공학과<sup>1,2)</sup> · 한양대학교 기계공학부<sup>3)</sup>

## Reliability-Based Shape Optimization of Automotive Torque Arm and Bracket

Young-Kyu Oh<sup>1)</sup> · Jae-Yong Park<sup>\*2)</sup> · Seog-Young Han<sup>3)</sup>

<sup>1,\*2)</sup> Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

<sup>3)</sup> School of Mechanical Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791080, Korea

**Abstract :** This paper presents a reliability-based shape optimization (RBSO) using the growth-strain method. An actual design involves uncertain conditions such as material property, operational load, Poisson's ratio and dimensional variation. The purpose of the RBSO is to consider the variations of probabilistic constraint and performances caused by uncertainties. In this study, the growth-strain method was applied to shape optimization of reliability analysis. Growth-strain method is applied to performance measure approach (PMA), which has probabilistic constraints that are formulated in terms of the reliability index, is adopted to evaluate the probabilistic constraints in the change of average von Mises stress. Numerical examples are presented to compare the DO with the RBSO. The results of design example show that the RBSO model is more reliable than deterministic optimization. It was verified that the reliability-based shape optimization using growth-strain method are very effective for general structure. The purpose of this study is to improve structure's safety considering probabilistic variable.

**Key words :** Reliability-Based Shape Optimization(신뢰성 기반 형상 최적화), Performance Measure Approach(목표성능치 접근법), Growth-Strain Method(성장-변형률법), Volume Control(체적제어)

### 1. 서 론

현재 최적설계 연구에서는 구조물의 불확실성, 예측불가능성, 임의성을 고려한 신뢰성기반 최적설계<sup>(1-3)</sup>가 연구되고 있다. 2003년 미국 우주 왕복선이 발사 직전 폭파 된 대형사고<sup>(4)</sup>가 있었다. 이는 설계요구조건을 만족하였음에도 불구하고 실제 양산단계에서 발생할 수 있는 제품의 가공오차, 재질의 임의성, 받는 힘의 불규칙성 등의 예측 불가능성에 대한 고려를

하지 않았기 때문이다. 수학적 기법을 사용하지 않는 형상 최적화 기법 중 Azegami<sup>(5)</sup>가 제안한 성장-변형률법은 응력이나 탄성 변형에너지 등의 분포매개변수를 구조물내에 균일하게 분포되도록 함으로써 형상을 최적화한다. 지금까지의 연구는 성장-변형률법을 이용하여 결정론적 형상 최적화는 수행되었지만, 성장-변형률법을 이용한 신뢰성 기반 형상최적화는 수행되지 않았다.

따라서, 본 논문에서는 구조물의 평균응력 제한조건에 대한 신뢰성 기반 형상 최적화에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 성장-변형률법을 이용한 구조물의 평균응력 제한조건 하에 목표성능치 접근법(PMA)을 적용한 신뢰성 기반 형상 최적화를 수행하였으며, 그 결과를 결정론

\*2) 발표자, E-mail: bimmer@hanyang.ac.kr

3) 교신저자, syhan@hanyang.ac.kr

적 형상 최적화와 비교하였다.

## 2. 성장-변형률법

이 기법은 매개변수를 균일하게 분포시키는 과정에서 발생하는 체적변형으로 형상을 최적화시킨다. 성장-변형률법의 응력 제어는 다음 식에 의해 PID 제어 개념을 이용하여 효율적으로 제어될 수 있다.

$$\varepsilon_{ij}^{B(n)} = \frac{\sigma_{\max}^{(n-1)} - \sigma_{obj}}{\sigma_{obj}} \delta_{ij} h + \left\{ K_p \frac{\sigma_{\max}^{(n-1)} - \sigma_{obj}}{\sigma_{obj}} + K_I \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\sigma_{\max}^{(k)} - \sigma_{obj}}{\sigma_{obj}} + K_D \frac{\sigma_{\max}^{(n-1)} - \sigma_{\max}^{(n-2)}}{\sigma_{obj}} \right\}$$

## 3. 형상 최적화 시스템

성장-변형률법을 적용하기 위해서는 응력과 열변형 해석이 필수적이다. 응력해석의 결과를 매개변수화, 성장변형률을 온도하중으로 변환, 열변형 해석을 위해 MATLAB과 범용 소프트웨어인 ANSYS를 연결하였다. 형상 최적화를 수행하는 과정에서 요소가 찌그러지거나 서로 중첩되는 경우에는 리모델링하거나 요소 수정 등의 후처리를 필요에 따라 선택적으로 수행하였다.

## 4. 신뢰성 기반 최적설계

PMA는 신뢰도 지수를 구하는 방법 중 가장 안정되고 정확한 방법<sup>(4)</sup>이므로 본 연구에서는 이 방법을 이용하였다. 표준 정규분포공간에서 원점으로부터 목표 신뢰도 지수만큼의 거리에 있는 점들 중 성능함수의 최소값을 얻는다. 이 최소값을 목표 성능치라고 한다. 이때 목표 성능치가 0보다 크면 원점으로부터 목표 신뢰도 지수만큼 떨어진 위치의 모든 점에서 성능함수 값이 양수가 되어 목표 신뢰도 지수를 만족하는 것이 된다.

## 4. 적용예제

토크암과 브라켓에 대하여 확률 제한조건을 고려한 신뢰성기반 형상최적화를 수행하고, 결정론

적 형상최적화와 비교하였다. 4절점 유한요소를 사용하였으며 성장비  $h$ , 비례상수  $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  값을 이용하여 형상 최적화를 수행하였다. 한계상태 방정식은 토크암의 평균응력을  $500MPa$  이하로 되게 하는 제한조건을 설정하였으며, 탄성계수, 하중 그리고 두께를 확률변수로 고려하였다. 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.

## 5. 결 론

- 1) 2차원 및 3차원 구조물의 확률변수의 확률론적 분포를 고려한 신뢰성 기반 형상 최적화 시스템을 구축하였다.
- 2) 성장-변형률법을 사용함으로써 보다 효율적인 신뢰성 기반 형상 최적화를 수행할 수 있었다.

## References

- (1) Kim, C., Wang, S. M., Hwang, I. H., and Lee, J. G., "Application of Reliability-Based Topology Optimization for Micro electro mechanical Systems", AIAA. J., Vol. 45, pp. 2926-2934, 2007.
- (2) Kim, C. I., Wang, S. M., Bae, K. R. and Moon H. G., "Reliability-Based Topology Optimization with Uncertainties", Int. J. KSME., Vol. 20, No. 4, pp. 494-504, 2006.
- (3) Lee, J. H., Yoo, J. H. and Lim, H. J. "A Study for the Reliability Based Design Optimization of the Automotive Suspension Part", Trans. of KSAE, Vol. 12, No. 2, pp.123-130, 2004.
- (4) Choi, S. K., Grandhi, R. V. and Canfield, R. A., Reliability-based Structural Design, Springer, London, Ch. 1, pp. 10-16, 2007.
- (5) Azegami, H., "Shape Optimization of Solid Structures Using the Growth-Strain Method", SAE 921063, 1992.