

스트럿 바의 다공성 형상에 따른 구조적 거동 분석

김복음*, 박준현*, 박지현*, 김정진**
*대구 미래형자동차산업 혁신아카데미
**계명대학교 기계자동차공학부
e-mail:kjj4537@gmail.com

Structural behavior analysis of strut tower brace bar according to the porous shape

Bok-Eum Kim*, Jun-Hyeon Park*, Ji-Hyeon Park*, Jung Jin Kim*
*Dept. of Mechanical Engineering, Keimyung University
**Daegu Future automobile industry innovation academy

요 약

본 논문에서는 자동차의 직진성을 확보하고 좌우의 흔들림을 최소화해 주행 안정성을 높여주는 스트럿 바가 강성이나 주행 성능에 대한 정량적인 근거 없이 다양한 형태로 판매되고 있음을 확인하였고 이에 다양한 다공성 구조를 가지는 스트럿 바의 안정성과 경량성을 비교 분석하는 연구를 진행하였다. 다공성이 없는 형상을 포함한 4가지 다공성 구조를 가지는 스트럿 바들을 동일한 조건 하에서 유한요소해석을 진행하였으며 스트럿 바의 안정성과 경량성을 정량화하였다.

2. 본론

1. 서론

스트럿 바(strut tower brace bar)는 차량 엔진룸의 양쪽 마운트에 장착되어 차량의 직진성을 강화하고 좌우의 흔들림을 최소화하는 부품이다. 이전 연구에 따르면 스트럿 바는 최대 83.3%까지 스트럿 타워들의 편향을 저감시켜 주행 안정성을 높일 수 있다고 보고된 바 있다[1]. 또한 별도의 튜닝 승인이 필요 없으며 비전문가도 쉽게 설치 가능하다는 장점을 가지고 있다[2].

다만, 언급한 스트럿 바의 장점에도 불구하고 시중에 판매되는 대부분의 차량(즉 중형급 이하)에는 제작 단가 문제로 인해 미설치되는 경우가 대부분이다. 이러한 이유로 인해 스트럿 바의 설계는 표준화되지 못하고 있다. 더욱이 강성이나 주행 성능에 대한 정량적인 근거 없이 다양한 형태의 스트럿 바들이 애프터 마켓에서 판매되고 있는 실정이다. 이는 해당 제품들이 설치된 차량의 주행 안전성(safety)과 안정성(stability)에 영향을 미칠 수 있어 주의가 필요하다.

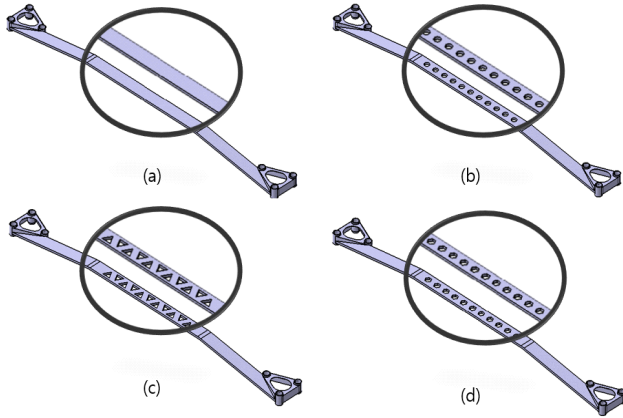
이에 본 연구에서는 다양한 다공성 구조를 가지는 스트럿 바들의 안전성과 경량성을 정량적으로 비교 분석을 하는 것을 목표로 한다.

2.1. 연구 대상

본 연구에서는 시중에 판매되고 있는 원형, 삼각형, 육각형의 다공성 구조를 가지는 스트럿 바들의 구조해석을 진행하였다. 모델의 형상은 여러 가지 스트럿 바 제품들을 참고하여 CATIA V5 R19로 모델링을 진행하였다. 길이가 약 1,225 mm 정도의 평균적인 일체형 형상으로 모델링 한 후 완성된 모델로 유한요소해석을 진행하였다.

해석 대상의 형상은 그림 1에 나타내었다. Model 1은 다공성이 없는 형상을 나타낸 것이고 Model 2, Model 3, Model 4는 기존 형상과 달리 다공성 구조를 가지는 모델이다. Model 2는 원형의 다공성 구조를 가지는 스트럿 바로, 원 하나의 지름은 20 mm이며 원형 구조 간 간격은 40 mm이다. Model 3는 삼각형의 다공성 구조를 가지는 스트럿 바로, 정삼각형 한 변의 길이는 30 mm이며 삼각형 구조 간 간격은 36 mm이다. Model 4는 육각형의 다공성 구조를 가지는 스트럿 바로, 육각형의 너비는 20 mm이며 육각형 구조 간 간격은 40 mm이다.

최종적으로 기존 구조와 다공성 구조를 가지는 스트럿 바의 중량을 비교하고 유한요소해석을 통해 변위와 응력을 비교하여 최적의 형상을 결정하였다.



[그림 1] 스트럿 바 모델링 (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3 (d) Model 4

2.2. 유한요소해석

이번 연구에서는 위에서 결정한 각각 다른 구조를 가진 스트럿 바를 유한요소해석을 통해 분석하였다. 구조에 따른 차이를 확인하기 위해 재료, 길이, 무게, 경계 조건, 하중 조건 등의 상태를 동일하게 설정한 뒤 유한요소해석을 통하여 변위와 최대응력을 확인하였다. 시험 결과 중량 및 변위, 그리고 Von Mises Stress가 가장 적은 형상을 최적의 스트럿 바 형상으로 선정하였다.

본 연구에서는 CATIA V5 R19를 이용하여 유한요소해석을 진행하였다. 해석을 위해 위에서 제시한 네 가지 모델들을 길이 1,225 mm의 중실축인 스트럿 바로 제작하였고 이를 이용하여 주행 시 스트럿 바에 나타나는 형상의 변화를 분석하였다.

유한요소해석을 위하여 스트럿 바를 1 mm의 정사면체 Mesh로 분할하였다. 그 결과 표 1과 같은 절점과 요소가 발생하였다. 스트럿 바에 사용되는 재료에는 강철, 두랄루민, 구조용 강 그리고 카본 피버가 있다. 두랄루민과 카본 피버의 경우 가격이 많이 비싼 편이라 레이싱이나 전문 튜닝에 주로 사용되므로 제외하였고 주로 사용되는 구조용 강을 연구모델의 재질로 선정하였다. 구조용 강의 물성치는 표 2에 나타내었다. 그리고 유한요소해석을 위해 스트럿 바와 차체가 부착되는 부분의 한쪽에는 구속조건을 주었고 다른 한쪽에는 하중조건을 부여하였다. 구속조건으로는 스트럿 바의 나사 체결부분 3개의 안쪽 면에 완전구속조건을 부여하였고, 하중조건으로는 반대편 체결 부분에 스트럿 바의 길이 방향으로 250 N의 하중을 부여하였다. 이것은 운전 시 스트럿 바에 가해지는 하중의 일부가 차체의 현가장치를 통해 흡수된다고 가정했을 때의 설정 값이다[3].

앞선 경계 조건과 하중 조건을 동일하게 설정하고 구조를 변경하며 스트럿 바에 대한 유한요소해석을 진행하였다. 해석을 위한 장비로는 Intel i7-9700 CPU, 16.0GB RAM, Windows 10 OS를 사용하였다.

[표 1] 유한요소모델의 절점 수와 요소 수

	Number of node	Number of element
Model 1	347,409	1,436,337
Model 2	347,804	1,440,733
Model 3	347,472	1,436,778
Model 4	347,646	1,440,371

[표 2] 구조용 강의 물성치

Material Properties	Structure Steel
Young's Modulus [GPa]	200
Poisson's Ratio	0.3
Density [kg/m ³]	7,850
Yield Strength [MPa]	250

2.4 구조해석 결과

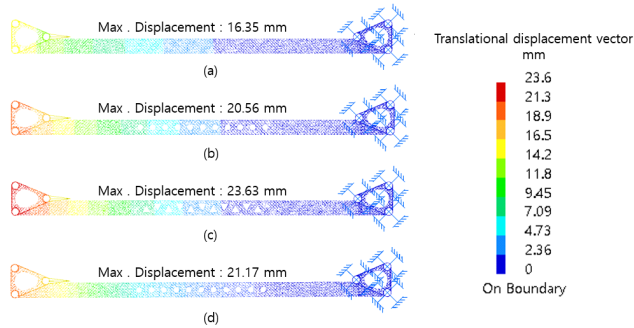
Model 1은 3135.58 g, Model 2는 2945.69 g, Model 3은 2900.02 g, Model 4는 2926.20 g이며 Model 3이 가장 적은 중량을 가지는 것으로 나타났다. Model 1 대비 Model 2의 중량은 6.06% 감소하였고, Model 3은 7.51%, Model 4는 6.68%가 감소하였다.

그림 2는 각 모델에 대한 변위 결과를 보여준다. 먼저 Model 1, Model 2, Model 3 그리고 Model 4를 비교했을 때 각각 16.35 mm, 20.56 mm, 23.63 mm, 21.17 mm의 변위가 발생하여 Model 1을 제외하면 원형의 다공성 구조를 가지는 Model 2에서 가장 적은 변위가 나타났다. Model 1 대비 Model 2의 변위는 25.75% 증가하였고, Model 3은 44.53%, Model 4는 29.48%가 증가하였다.

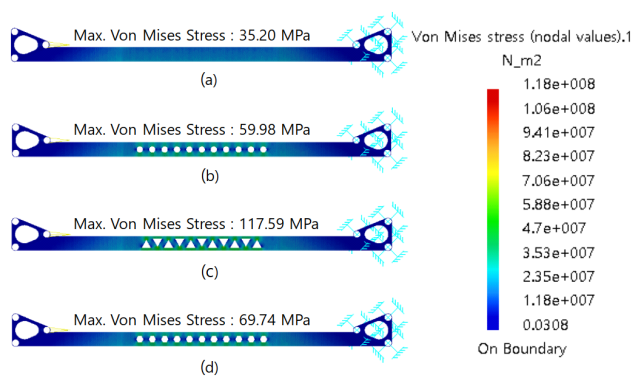
그림 3은 각 모델에 대한 Von Mises Stress 결과를 보여준다. 먼저 Model 1, Model 2, Model 3 그리고 Model 4를 비교했을 때 각각 35.20 MPa, 59.98 MPa, 117.59 MPa, 69.74 MPa의 Von Mises Stress가 발생하였다. Model 1을 제외하면 원형 다공성 구조를 가지는 Model 2에서 가장 적은 Von Mises Stress가 나타났다. Model 1 대비 Model 2의 Von Mises Stress는 70.39% 증가하였고, Model 3은 234.06%, Model 4는 98.13% 증가하였다.

표 3은 Model 1을 기준으로 나머지 모델들의 중량, 변위 그리고 Von Mises Stress 값을 식 1에 적용하여 상대적으로 나타낸 것이다.

$$\frac{|Model1 - Model2,3,4|}{Model1} \times 100 \quad (1)$$



[그림 2] 유한요소해석을 통한 변위 분석 결과 (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3 (d) Model 4



[그림 3] 유한요소해석을 통한 Von Mises Stress 분석 결과 (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3 (d) Model 4

[표 3] 모델별 점수 환산

	중량 [%]	변위 [%]	Von Mises Stress [%]
Model 2	6.06	25.75	70.39
Model 3	7.51	44.53	234.06
Model 4	6.68	29.48	98.13

3. 결론

이번 연구에서는 총 4가지로 변형한 형상에 대하여 동일 조건과 하중을 주고 유한요소해석을 진행하였다. 그리고 해석을 통해 나온 결과를 바탕으로 최적의 구조 형상을 선정하였다. 연구를 통해 나온 결론은 아래와 같다.

1. 길이 1,225 mm, 구조용 강으로 제작된 중실축 스트럿 바에 다공성 구조를 가지는 형상으로 변형한 결과 Model 3이 가장 적은 중량을 가지는 것으로 나타났다.
2. 스트럿 바에 동일한 경계 조건과 하중 조건을 주고 다공성 형상의 모양을 변형하여 유한요소해석을 진행한 결과

Model 2의 스트럿 바에서 20.56 mm로 최소 변위가 발생하였고, Model 2에서 59.98 MPa로 최소 Von Mises Stress가 발생하였다.

3. Model들의 다공성 형상을 정량적으로 비교하기 위해 크기, 간격, 개수 등을 동일한 조건 하에 추가적인 연구가 필요하다.
4. Model 2는 모두 같은 조건을 바탕으로 해석을 진행하였음에도 상대적으로 적은 중량을 가지고 가장 적은 변위와 Von Mises Stress가 발생해 추가적인 연구에 따라 다른 다공성 구조들에 비해 다공성 구조가 아닌 스트럿 바를 대체하기 가장 적합할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Grimm Speed, "Strut Tower Brace Deflection Testing", 2022.04
- [2] 국토교통부, TS교통안전공단, "알기 쉬운 자동차 튜닝 매뉴얼 증보판". 2016.04
- [3] 한문식, 조재웅, "스트럿 바의 구조 해석을 통한 피로 내 구성에 관한 연구", 한국자동차공학회, 2016,6, Vol.24, No.5, pp. 504-511
- [4] 김철홍, 심경원, 김정진, "임팩트 빔의 단면 형상 변화에 따른 강성 개선 연구", 한국산학기술학회