

컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 자동차용 텐션 링크의 경량 설계[§]

김 기 주^{*†}

* 동명대학교 메카트로닉스공학과

Light-Weight Design of Automotive Tension Link Based on Computer Aided Engineering

Kee Joo Kim^{*†}

* Dept. of Mechatronics Engineering, Tongmyung Univ.

(Received January 5, 2017 ; Revised March 3, 2017 ; Accepted March 7, 2017)

Key Words: Tension Links(텐션링크), Stiffness(강성), Light-Weight(경량화)

초록: 기존 STKM11A steel 소재로 설계된 자동차용 텐션링크를 인장강도 245 MPa인 알루미늄 합금 (A356) 소재로 대체하기 위한 경량화 설계 과정이 인장, 굽힘 및 비틀림 강성의 변화 측면에서 연구하였다. 부품들의 안전성을 희생시키지 않고 자동차 부품 경량화를 이루기 위해 많은 연구자들이 보다 가볍고 강한 서스펜션 링크들에 관한 연구를 진행해 왔다. 기존 I-빔 형태의 단면을 지닌 링크는 특별한 방향에 대하여 약한 단점이 있을 수 있으므로 경량화 이후에도 모든 방향의 하중을 견딜 수 있는 최적의 링크부품 형상을 연구하였다. 다양한 형태의 링크들을 설계 및 분석하여 최적의 형상을 얻을 수 있었다. 최적화된 설계는 경량화 이전 steel 소재로 설계된 링크보다 40% 이상 경량화 시킬 수 있었으며 이를 통해 텐션링크 개발의 안전한 경량화 설계조건을 제시할 수 있었다.

Abstract: The weight reduction design process of tension links could be studied based on the variation of tension, bending and torsional stiffness after substituting STKM11A steels with aluminum alloys (A356) with tensile strength of 245 MPa. The existed I-beam type link component may have a weak point for loads applied from a special direction. Therefore, it was investigated to the optimal shape of the link component that could withstand loads from all directions and at the same time reduce weight. Various types of link shapes were designed and analyzed, and the optimized shape was found. The optimized design can reduce over 40% of the original steel link weight, and it could be suggested for light-weight design guides and safe design conditions for the development of tension links.

1. 서 론

자동차의 설계에 경량화와 고강성의 설계는 최대의 관심사이다. 경량화와 고강성의 두가지를 만족 시키는 것은 매우 어려운 문제이기 때문이다. 연비향상 등의 이유 때문에 각 자동차 회사들이 노력을 기울이고 있는 분야는 엔진기술의 개량, 차체 경량화 등이다. 엔진 기술의 개량은

엔진 및 구동계의 효율향상과 에너지 손실의 저감 및 차체 경량화의 기술적 과제 등이 있다.^(1,2)

그러나 엔진기술과 관련해서는 약 100년 동안 이미 많은 개량과 연구가 진행되어 동일성능을 유지하며 연비를 단기간에 획기적으로 증가시키는 것에는 한계가 있기 때문에 차체 경량화를 통한 연비향상이 가장 효율적인 대안으로 떠오르고 있다.

자동차 경량화를 위한 방법은 첫째, 철 구조물을 개선하여 필요 없는 부분을 제거하는 것이고,⁽¹⁾ 둘째, 알루미늄 합금과 같은 가벼운 재료를 사용하는 것이다.⁽²⁾ 전자는 저가이면서 재활용성

[§] 이 논문은 대한기계학회 2016년도 학술대회(2016.

12.14.-16., 강원랜드 컨벤션센터) 발표논문임

[†] Corresponding Author, kjkim@tu.ac.kr

© 2017 The Korean Society of Mechanical Engineers

이 큰 강(steel)을 사용하여 경량화 시키는 것이고, 후자는 재료 등에 의한 비용이 커서 주로 고급 대형 승용차에 사용되고 있다.^(3,4)

차체 경량화를 달성하기 위해서 최근 연구되고 있는 대표기술로는 초경량 철강차체와 알루미늄 합금 등의 비철금속 혹은 복합재료 같은 경량재료를 이용한 차체를 들 수 있다. 특히 알루미늄 합금의 사용량이 크게 증가하여 주물부품을 중심으로 실린더블록, 실린더헤드, 피스톤, 링크, 휠, 라디에이터에 이르기 까지 적용되고 있다. 또한 차체 전체를 알루미늄 합금으로 적용한 차량(space frame 등) 등도 상용화 추세에 있다.^(3,4)

본 연구에서는 인장강도 245 MPa 급 알루미늄 합금 소재를 이용한 서스펜션 링크의 경량화 설계 과정을 기존의 상용화로 검증된 steel(STKM11A) 소재로 제작된 서스펜션 링크를 참고로 하여 CAE(computer aided engineering)을 이용해 다루고자 한다. 경량화 기준모델을 제시하고 기준모델과의 강성을 비교하여 최적화 모델의 기준모델을 제시하였다.⁽⁵⁾

2. 해석방법

2.1 기존 모델 및 경량화 설계 모델

자동차 서스펜션 구성품인 텐션링크(tension link)는 승용차의 샤시 하단부에 위치하여 스프링 및 속업소마(shock absorber)를 지지해 줄 뿐만 아니라 차체와 휠(wheel)에 전달되는 충격을 완화시켜 주는 역할을 한다.^(1,2) 뒤쪽 휠은 이 부품에 휠 캐리어(wheel carrier) 부품으로 연결되는 서스펜션으로 구성하여 편안한 승차감을 제공한다. 본 연구에서는 steel (STKM11A) 소재로 개발된 텐션링크의 구성파트를 알루미늄 합금으로 소재 변경하여 경량화 설계를 진행하였으며 Fig. 1에 모듈 형태로 제작된 리어 서스펜션의 차량 장착 위치를 나타내어 텐션링크의 차량 구조물 상 역할을 구조적으로 나타내었다.

본 연구에서 경량화의 대상이 되는 부품은 리어 새시(Chassis) 모듈의 부품인 텐션링크로 Fig. 1에서 확인할 수 있다. 자동차가 받는 다양한 하중 중 본 연구에 고려된 텐션링크의 주된 하중은 인장하중이고 그러므로 그 명칭 또한 텐션링크이다. 텐션링크의 양 끝단 결합부의 직선길이는 265 mm로 이는 리어 샤시 모듈의 전체 스펙에 의해 정해진 것이고 경량화 모델에도 적용되는

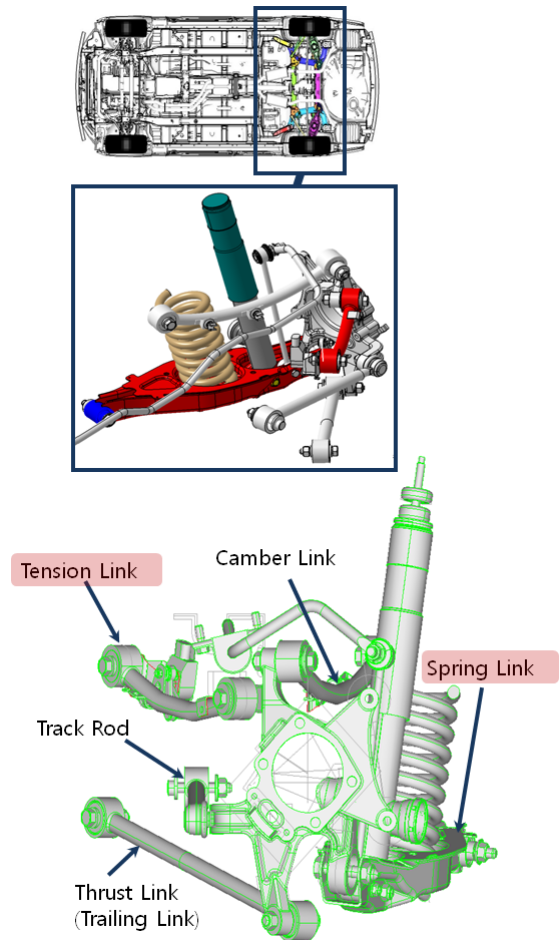


Fig. 1 Tension link of the rear suspension module

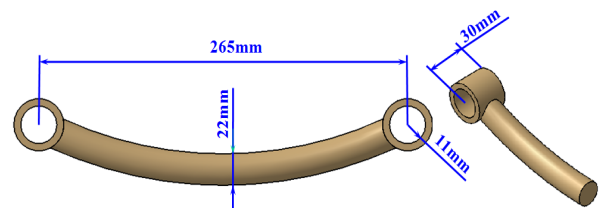


Fig. 2 Tension link (conventional steel) model

고정된 길이이다.

Fig 2(a) 및 (b)에는 텐션링크의 기존모델과 경량화 모델을 나타내었다. Fig. 2(b)에서와 같이 경량화 모델은 단면이 원형단면에서 I자형으로 바뀌었고 이 I자 형상은 옆면 보강에 의해 변화된 개선된 모델의 기준형상이다.

2.2 해석 조건(boundary conditions)

자동차 서스펜션 구성품인 텐션링크(tension link)의 CAE 해석은 상용프로그램으로 검증된 ANSYS Workbench(version R15) 프로그램을 이용

Table 1 Mechanical properties

| | STKM11A | A356 |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| Young's modulus | 200.0 GPa | 71.0 GPa |
| Poisson's ratio | 0.30 | 0.33 |
| Density | 7.85 g/cm ³ | 2.77 g/cm ³ |
| Yield strength | 305.0 MPa | 160.0 MPa |
| Ultimate strength | 440.0 MPa | 245.0 MPa |

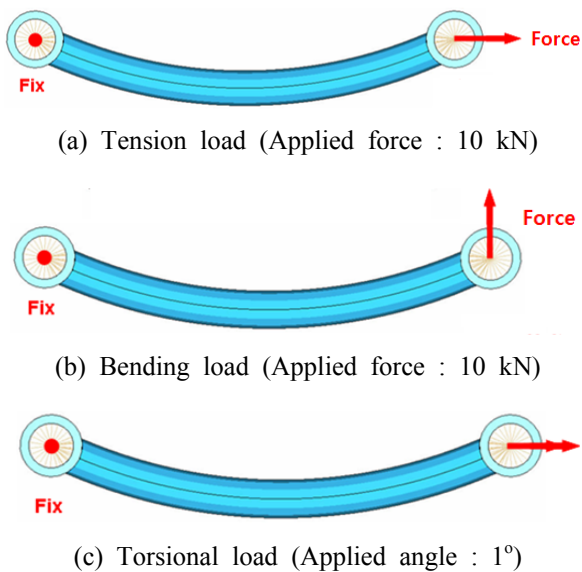


Fig. 3 Boundary conditions of tension link

하였으며 탄성해석을 수행하였다. Table 1은 해석 시 사용된 기존 steel(STKM11A) 소재 및 알루미늄 합금(A356)의 소재의 기계적 특성이다.

Fig. 3은 개선된 텐션링크의 강성 계산을 위한 해석에 사용된 하중과 경계조건이다. 텐션링크의 한쪽 결합부의 내면을 변위가 구속된 중앙 한 점에 구속하였고 하중은 그림과 같이 3가지 성분을 고려하여 반대쪽 결합부의 내면을 구속한 중앙점에 가하였다. Fig. 3(a)의 인장강성(텐션링크의 경우 곡선빔이기 때문에 엄밀하지는 않지만)이라 명명한 경우는 한 쪽을 고정(Fix)하고 다른 쪽에 화살표 방향의 인장하중을 10 kN 부여하였을 때 강성(Stiffness)의 변화를 계산한 경우이며 Fig. 3(b)의 경우는 역시 한 쪽을 고정(Fix)하고 다른 쪽에 화살표 방향의 굽힘하중을 10 kN 부여하였을 때 강성의 변화를 계산한 경우이다. 또한 Fig. 3(c)의 경우는 역시 한 쪽을 고정(Fix)하고 다른 쪽에 화살표 방향의 수직방향으로 1도(degree) 회전시켰을 때 강성의 변화를 계산한 경우이다. 각

Table 2 Comparison between conventional and various weight reduction model

| | Tension stiffness (kN/mm) | Bending stiffness (kN/mm) | Torsion stiffness (kN/mm) | Weight (g) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| Conventional model(steel) | 14.6 | 0.38 | 117.1 | 895 |
| I-beam(Al) | 24.7 | 0.91 | 40.9 | 349 |
| | 169.0% | 239.0% | 35.0% | 39.0% |
| H-beam(Al) | 14.2 | 0.49 | 9.8 | 349 |
| | 97.1% | 128.9% | 8.4% | 39.0% |
| + beam(Al) | 11.6 | 0.36 | 15.2 | 349 |
| | 79.1% | 94.7% | 13.0% | 39.0% |

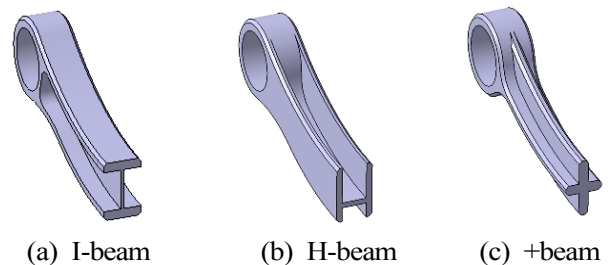


Fig. 4 Basic type design of A356 tension link

하중조건에서 하중의 크기 10 kN은 Steel 소재(이미 상용화되어 안전성에 문제없는 것으로 검증된 소재 혹은 그 부품)로 제작한 텐션링크를 알루미늄 합금 링크로 경량화 설계한 모델의 값들과 상대적으로 얼마나 차이가 나는 지를 비교하는 방법을 사용하기 때문에 크기의 고저는 의미가 없다. 인장강성과 굽힘강성은 각각의 하중 부여방향(서로 수직임)으로 10 kN을 가했을 때 나타나는 강성(Stiffness) 값을 각각 인장강성과 굽힘강성 결과값으로 사용하였다. 또한 비틀림 강성의 경우 1도 회전시키도록 구속조건을 부여하였다.

3. 해석결과 및 고찰

Fig. 4에 본 연구에서 다양한 형상으로 설계할 수 있는 기본 형태의 경량화 링크들을 나타내었다. Fig. 4의 기본형태를 토대로 다양한 개량 모델들을 설계하였으며 이를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4의 형상을 기준으로 옆면에 다양한 형태로 리브 등을 설계하여 보강형상을 개량 시켰다.

Table 2는 기존 모델과 경량화 모델의 기준이 되는 보강이 없는 I형(Fig. 2참조)의 각 하중 성분별 강성 해석 결과이다. 인장과 굽힘강성은 기존

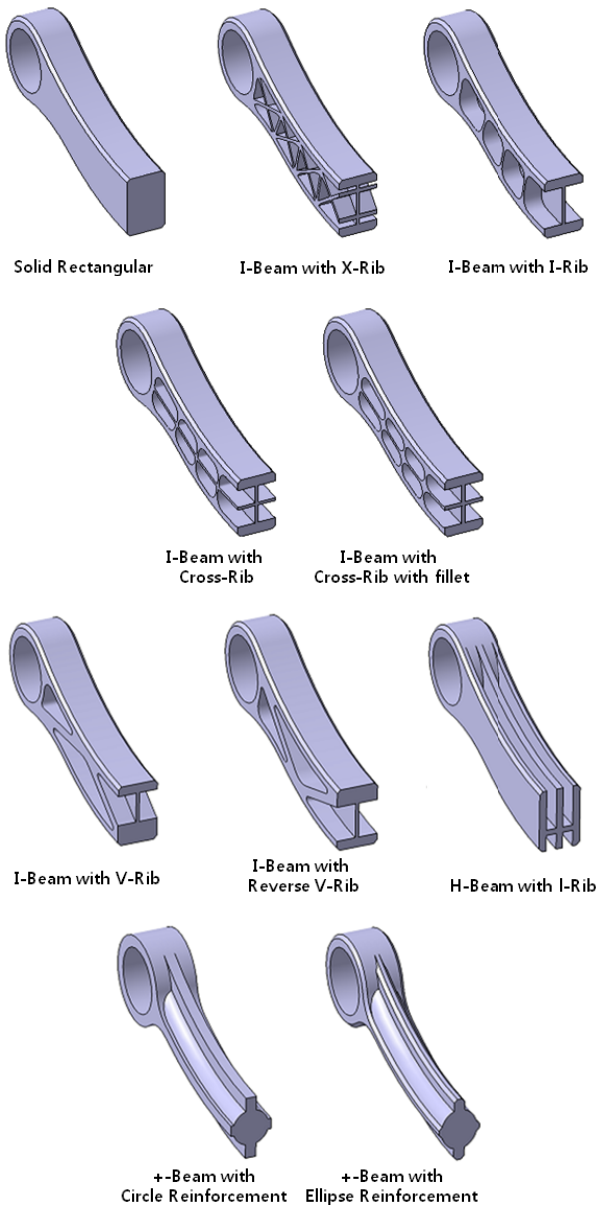


Fig. 5 Various design of A356 tension link

steel 소재 텐션링크보가 우수하였으나 비틀림강성이 기준 값인 steel의 강성을 미달하여 취약한 값을 나타내었으며, 무게는 기존모델 대비 39%로 61%의 경량화를 이룰 수 있다. Table 2에 Fig. 4의 3가지 기본 경량화 모델의 강성해석 결과도 steel 모델과 비교하여 나타내었다. 해석결과 표에서 알 수 있듯이 기존 steel 모델 대비 기본 경량화 모델의 무게는 61% 감소하였으나 비틀림 강성만 감소하였다. I-beam 모델의 경우 3가지 기본 경량화 모델 중 가장 높은 강성값을 나타내었으며 + beam 모델의 경우 가장 낮은 강성 값을 나타내었으나 비틀림 강성 값은 오히려 H-beam 모

Table 3 Analysis results of various A356 weight reduction model

| | Tension stiffness (kN/mm) | Bending stiffness (kN/mm) | Torsion stiffness (kN/mm) | Weight (g) |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| Conventional model(steel) | 14.6 | 0.38 | 117.11 | 895 |
| Solid rectangular | 308.4% | 365.8% | 209.5% | 77.0% |
| I-Beam with X-Rib | 201.0% | 263.2% | 176.0% | 49.0% |
| I-Beam with I-Rib | 177.3% | 250.0% | 15.7% | 43.0% |
| I-Beam with Cross-Rib | 182.7% | 250.0% | 17.5% | 46.0% |
| I-Beam with Cross-Rib with fillet | 211.4% | 265.8% | 47.2% | 49.6% |
| I-Beam with reverse V-Rib | 199.9% | 268.4% | 44.9% | 49.6% |
| H-Beam with I-Rib | 156.9% | 200.0% | 12.1% | 49.5% |
| + Beam with circle reinforcement | 105.3% | 128.9% | 59.3% | 49.6% |
| + Beam with ellipse reinforcement | 104.6% | 128.9% | 66.0% | 49.6% |

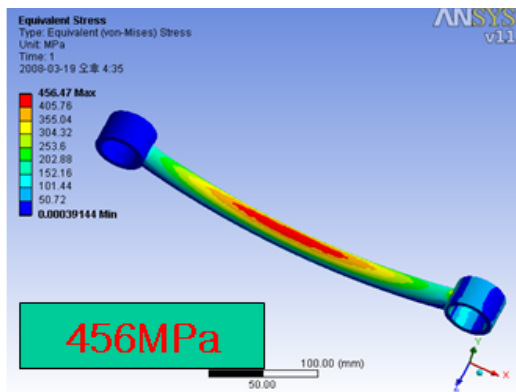
델보다 높은 경향을 나타내었다.

기본 경량화 모델의 해석결과인 Table 2의 결과를 바탕으로 Fig. 5와 같은 다양한 형태의 알루미늄 링크를 설계하였다. I-beam에서 파생된 서로 다른 6개의 단면 형상을 지닌 링크를 설계하였으며 H-beam에서 1개 + beam에서 2개의 형상을 설계하였다. Fig. 5의 해석결과를 정리하여 Table 3에 나타내었다. steel 모델 대비 강성이 충분히 크며 기준을 모두 만족하는 경량화모델은 solid rectangular 모델이었으며 무게는 77% 수준이므로 23%의 경량화가 가능하였다. 다른 모델들은 인장, 벤딩강성은 모두 기준 모델인 steel 모델의 강성을 상회하는 결과를 얻었으나 비틀림강성은 만족하지 않았다. I-beam with X-Rib 모델의 경우 모든 강성을 만족하였으며 무게도 49%로 51%의 경량화가 가능한 것을 알 수 있었다. 또한 비틀림강성이 가장 낮은 모델은 H-Beam with I-Rib 모델이었으며 이 모델의 경우 인장강성 또한 낮은 경향을 나타내었다. 인장강성이 가장 낮은 모델은 + Beam 모델이었으며 이 모델은 오히려 비틀림 강성은 높은 경향을 나타내었다.

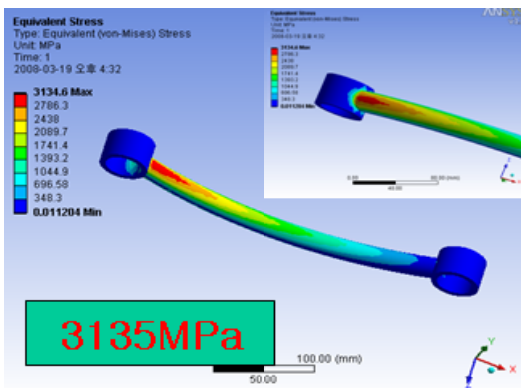
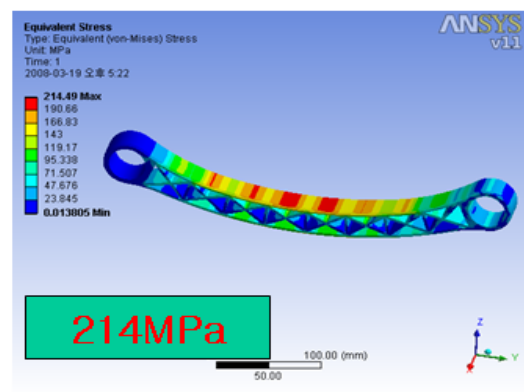
앞서 I-beam with X-Rib 모델의 경우 모든 강성

을 만족하였으므로 이 형상에 대하여 구조해석을 수행하였다. Fig. 6에 기존 steel 및 경량화모델인 A356 소재 텐션링크가 인장, 굽힘 및 비틀림 하중을 받을 때의 강도해석 결과를 나타내었으며 최대응력 값도 병기하였다. 해석결과 3가지 하중 중 굽힘 하중을 받을 때 텐션링크에 가장 큰 응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 최대응력 값은 기존 안전성이 검증된 steel 링크가 알루미

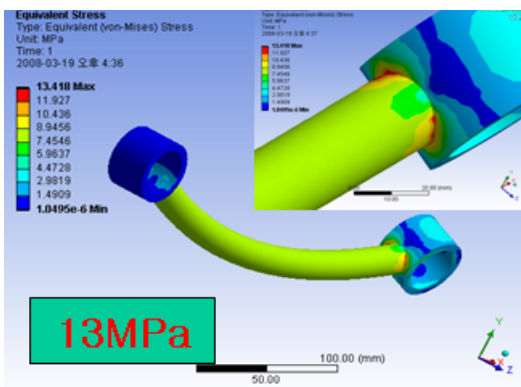
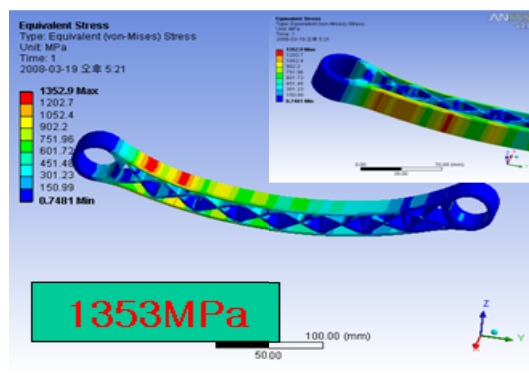
늄 합금 링크보다 높게 발생하는 것을 알 수 있다.⁽²⁾ 항복응력을 상회하는 최대응력값이 나타나는 이유는 당초 해석조건에서 10 kN(약 1톤)의 높은 값을 부여했기 때문이며 기존에 안전성과 상용성이 검증된 Steel 소재의 텐션링크와 알루미늄 합금 소재 설계안과 상대비교하는 값으로 활용하는 데 유용한 방법으로 경량화 설계 연구에서 종종 사용하는 방법이다.^(3,5)



(a) Steel and aluminum link under tension load



(b) Steel and aluminum link under bending load



(c) Steel and aluminum link under torsion load

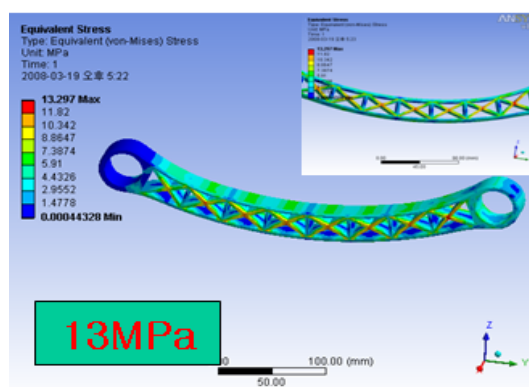


Fig. 6 Stress contour of steel and aluminum link after CAE simulation under (a) tension, (b) bending and (c) load⁽²⁾

본 연구에서 설계한 텐션링크의 제작비용은 기존 Steel 링크대비 1.5배였으며 경량화 효과를 고려하여 고급대형 승용차량에 적용 시 의미가 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 차량 경량화를 위하여 텐션링크의 경량화 모델의 강성을 계산하고 최적화 모델의 기준 형상을 제안하고자 하였다.

(1) 기준이 되는 I형의 기준 모델의 경우 61%의 경량화를 달성하였으나 비틀림 강성이 취약하였다.

(2) 기준형상을 보수적으로 보완한 Solid Rectangular 모델의 경우 모든 강성 조건을 steel 기준 이상으로 충분히 만족하였으며 이를 통하여 23%의 경량화를 달성하였다.

(3) Solid Rectangular 모델의 경우 경량화 정도가 부족하여 이를 개량한 I-beam with X-Rib 모델의 경우 모든 강성을 만족하였으며 무게도 49%로 51%의 경량화가 가능하여 최적화된 모델이었다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학협력 기술개발사업(No. C0395108)의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다. 또한 이 논

문은 2016학년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음(과제번호 2017 F019).

참고문헌 (References)

- (1) Park, J.-H. and Kim, K. J., 2013, "Optimal Design of Camber Link Component for Light Weight Automobile Using CAE(Computer Aided Engineering)," *International J. of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 14, No. 8, pp. 1433~1437.
- (2) Park, J.-H., Kim, K. J., Lee, J. W. and Yoon, J. K., 2015, "Light-Weight Design of Automotive Suspension Link Based on Design of Experiment," *International J. of Automotive Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 67~71.
- (3) Park, J.-H., Kim, K. J. and Yoon, J. G., 2013, "Light-weight Design of Automotive Spring Link Based on Computer Aided Engineering," *Transaction of KSAE*, Vol. 21, No. 5, pp. 157~161.
- (4) Cho, B. K., Chun, S. M. and Lee, S. H., 2016, "The Study on Weight Reducton of Vehicle for Shell Eco-marathon," *Transaction of Korean Soc. Auto. Eng.*, Vol. 24, No. 5, pp. 575~580.
- (5) Han, C. S. and Kim, S. S., 2013, "The Research of Stiffness and Weight Reduction for the Material Change from Aluminum to Engineering Plastic in Automotive Parts," *Korean Soc. Auto. Eng. Spring Presentation*, pp. 1246~1247.