

자전거 프레임 버티드 형상에 따른 내구성 해석을 통한 융합연구

최계광¹, 조재웅^{2*}

¹공주대학교 금형설계공학과 교수, ²공주대학교 기계자동차공학부 교수

A Convergence Study through Durability Analysis due to the Configuration of Automotive Frame Butted

Gye-Gwang Choi¹, Jae-Ung Cho^{2*}

¹Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju national University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 자전거를 타는 운전자가 자전거를 탑승하게 되면 그 프레임에 실리게 되는 위치에 따라서 운전자의 하중이 다르게 나타난다. 자전거 프레임의 접합 부분에서 가장 많은 하중이 작용하게 되며, 프레임의 중간 부분에서 다른 부분 보다 하중이 적게 작용하게 된다. 그래서 자전거 하중이 많이 작용하지 않는 부분을 두께를 얇게 제작함으로써 프레임의 무게를 줄이고, 하중이 크게 작용하는 부분에는 두껍게 제작하여 하중을 잘 버틸수 있게 한다. CATIA 프로그램을 사용하여 일반 프레임, 더블 버티드, 트리플 버티드의 형상으로 모델링하였고, 구조해석 및 피로해석을 진행하여 탑승자의 하중에 의해 각각의 모델의 내구성을 검토하였다. ANSYS 해석 프로그램을 사용하여 확인하여 본 연구 결과로는 일반 프레임의 변형이 가장 많이 일어났고, 트리플 버티드의 변형이 가장 적었다. 이러한 시뮬레이션 해석 데이터를 사용하여 실제 자전거 프레임을 설계 및 제작 시에 가장 효율적인 방법으로 설계할 것으로 사료된다.

주제어 : 자전거 프레임, 버티드, 구조해석, 피로해석, 융합 연구

Abstract When the driver riding in a bicycle goes on board, the load of driver is shown differently according to the position loaded on the frame of bicycle. The load is applied most at the joint of bike frame and the load at the mid-part of frame is applied least than the other parts. So, the weight of frame is decreased as the part not applied with a lot of load is manufactured into the thin thickness. As the part applied with high load is manufactured into the thick thickness, it can be endured through this load. The configurations of general frame, double butted and triple butted were modelled by using CATIA program. The durabilities of each model due to the load of passenger were investigated by carrying the structural and fatigue analyses. As this study result investigated with the analysis program of ANSYS, the deformation of general frame happened most and that of triple butted became least. These simulation analysis data are intended to be used to design the actual bicycle frame in the most efficient way at design and manufacture.

Key Words : Automotive frame, Butted, Structural analysis, Fatigue analysis, Convergence study

1. 서론

최근 들어 사람들이 출근이나 등교, 운동할 때에 자전

거를 이용하면서 자전거의 사용량이 증가하고 있다. 자전거의 이용 목적에 따라서 자전거의 종류도 다양하다 [1]. 일반 도로를 목적으로 타는 일반 자전거, 스피드

*Corresponding Author : Jae-Ung Cho (jucho@kongju.ac.kr)

Received August 9, 2018

Accepted November 20, 2018

Revised September 11, 2018

Published November 28, 2018

즐기기 위한 자전거인 로드 바이크, 오프로드를 달리기 위한 MTB 자전거, 자전거 모기를 목적으로 이용하는 픽시 자전거등 많은 자전거의 종류가 있다. 자전거의 종류가 다양하고 그 자전거의 대한 스펙도 가지각색이다. 자전거의 스펙 중에서도 자전거의 중심이라고 할 수 있는 프레임은 자전거 종류에 따라 재료와 두께가 다양하다. 자전거 프레임 스펙을 보면 버티드라는 것이 있는데 버티드는 프레임의 끝 부분의 두께를 두껍게 하거나 얇게 제작하여 두께를 다르게 할 수 있으며 알루미늄이나 강철등의 프레임에 적용된다[2-4]. 버티드를 제작하여 프레임의 두께를 다르게 하는 이유는 프레임의 강성을 향상시키고 무게를 줄이기 위해서 사용한다. 자전거 운전자가 자전거를 타게 되면 하중이 작용하는 부분이 다르고, 프레임의 연결 부분은 많은 하중이 작용하고, 하중이 적게 작용하는 부분은 중간 부분이다. 그래서 하중이 적게 작용하는 부분을 두께를 얇게 제작하고, 하중이 많이 작용하는 부분은 두껍게 제작하여 강성을 좋게 하고, 무게를 줄인다. 버티드 제작 방식에는 싱글, 더블, 트리플이 있다. 버티드 종류를 나누는 기준은 프레임의 두께를 변화한 횟수에 따라 나눌 수 있다. 싱글 버티드는 한쪽 부분은 얇고, 다른 한쪽은 두껍게 제작을 한 것이다. 더블 버티드는 프레임을 제작 시 첫 번째는 얇게 하고, 그 다음은 두껍게 제작하여 프레임 양쪽을 두껍게 하고, 중간은 얇게 한다. 마지막으로 트리플 버티드는 프레임 제작 시 두 번은 얇게, 다시 한 번 두껍게 제작 하여 프레임 양쪽을 두껍게 제작하고, 중간만 얇게 한 것이다. 이렇게 두께를 변화함에 따라 자전거를 타는 운전자들의 하중이 작용하면 버티드 종류에 따라 프레임의 변화를 확인하기 위하여 해석을 하였다. 어떤 버티드가 자전거 운전자들이 이용하기에 더 효율적인지 확인하고 알 수 있는 해석을 통하여 연구하였다[5,6]. 구조 및 피로 해석을 결과 데이터를 고려하여 자전거 프레임 설계 시 효과적으로 구조적 안정성과 수명을 높일 수 있다[7]. 이러한 연구 결과는 자전거 프레임을 효율적으로 설계하기 위한 자료가 될 것이라고 사료되며, 디자인의 융합기술에 미적인 감각을 보여줄 것으로 생각된다.

2. 본론

2.1 연구 모델

본 연구는 3개의 모델은 동일 재료인 알루미늄으로 하였다. 알루미늄의 특성은 전형적인 경금속으로 무게가 가볍고, 내구성이 크므로 일반적인 자전거 프레임 제작 시 사용되는 재료이므로 연구 재료에 선택하였다. 내부 형상만 다른 Model 1, Model 2, Model 3를 CATIA V5 R11를 사용하여 3D 모델링을 하였다. Fig 1은 Model 1, Model 2, Model 3의 자전거 프레임을 3D 모델링 한 것이고, 각 모델마다 내부 형상이 다르게 하였다[8]. Fig 2에서 보면, Model 1은 스트레이트, Model 2는 더블, Model 3는 트리플 버티드의 내부 형상으로 제작하였다.

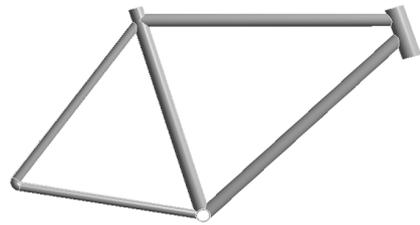


Fig. 1. Analysis model



(a) Model 1



(b) Model 2



(c) Model 3

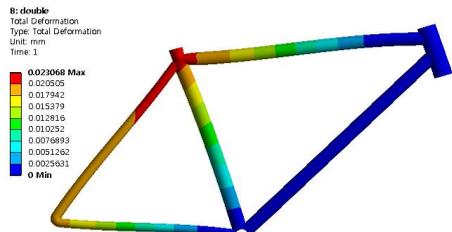
Fig. 2. Internal shape of models

2.2 해석 경계조건

Fig 4는 각각의 모델들의 구속 조건으로 조건은 다음과 같다. 모델들의 구조 해석 구속 조건에서 바퀴부분과 앞바퀴 부분을 고정하고, 안장에 하중이 가해진다. 안장에 가해지는 하중은 운전자의 무게를 평균 70kg으로 하였을 때, 안장에 작용하는 힘은 약 700N으로 하중이 작용한다.



Fig. 4. Analysis conditions of models

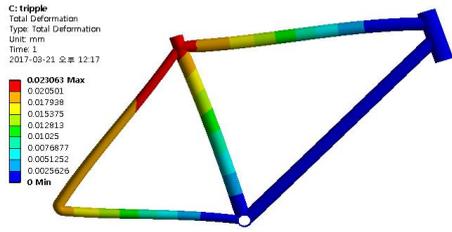


(b) Total deformation of model 2

3. 해석 결과

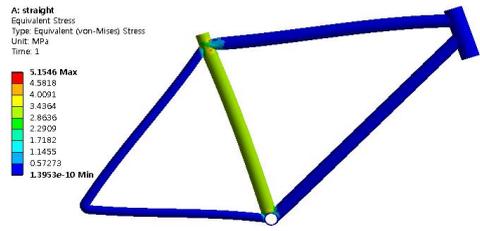
3.1 구조해석

구속 조건에 따라 구조 해석을 해본 결과는 다음과 같이 Fig 5와 Fig 6에서 보면 Model 1은 0.023093 mm의 최대 변형량과 5.1546 MPa로 최대 등가응력을 보이고, Model 2는 0.023068 mm의 최대 변형량과 4.8375 MPa로 최대 등가응력을 보인다. 마지막 Model 3는 0.023063 mm의 최대 변형량과 5.1562 MPa로 최대 등가응력을 보인다. 해석 결과를 확인하여 보았을 때, Model 1의 최대 변형량이 0.023093 mm로 가장 큰 것으로 나왔다. 최대 등가 응력은 Model 3가 5.1262 MPa로 가장 큰 것으로 나타났다. 해석 결과를 보면 프레임에 하중이 안장과 연결되어 있는 부분에 가장 많은 힘이 작용하는 것을 알 수 있다[9,10]. 그 다음으로는 뒷바퀴와 연결 되는 부분의 프레임에 두 번째로 힘이 작용 되고, 마지막으로 다운 튜브에 가장 약한 힘이 작용한다. Model 3는 트리플 버티드 이므로 트리플 버티드가 가장 힘을 많이 받는 것으로 나타났다. 운전자의 하중에 의한 직접적인 영향을 받는 시트튜브가 변형이 일어났으며, 가장 취약한 부분은 하중의 영향이 가장 큰 안장 부분으로 나타났다.

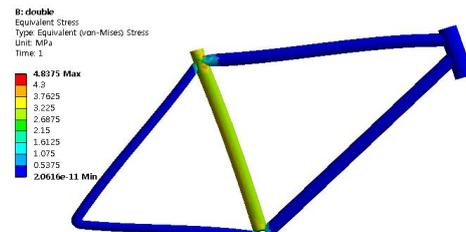


(c) Total deformation of model 3

Fig. 5. Total deformation of models



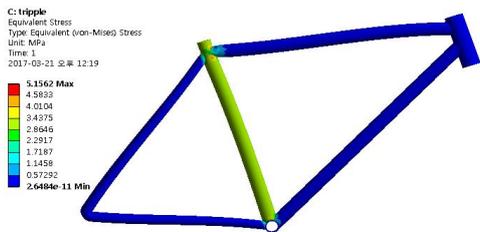
(a) Equivalent stress of model 1



(b) Equivalent stress of model 2



(a) Total deformation of model 1



(c) Equivalent stress of model 3

Fig. 6. Equivalent stress of models

3.2 피로 해석

모델들의 피로 해석 구속 조건은 Fig 4에서의 구조 해석의 구속 조건과 동일하게 하였다[11-15]. Fig. 7은 불규칙한 피로하중조건들을 나타낸 것이다. 여기서는 SAE bracket history, SAE transmission 및 Sample history를 보여주고 있다. 각각의 결과들은 불규칙 진폭하중들인 'SAE bracket history', 'SAE transmission', 'Sample history'의 하중들을 나타내어 각각의 모델들을 비교할 수 있다. 모델에 대한 사용 가능 수명이 Fig. 7에 보여지고 있다. Fig 6에서 보여지고 있는 불규칙한 진폭 하중으로 각 모델에 작용 되어 그 결과를 그래프에 나타내고 있다. 이 그래프에서는 사용 가능한 수명을 보여주고 있다. Model 1, Model 2, Model 3들이 모두 같은 피로 하중을 받고 있고, SAE bracket history, SAE transmission 및 Sample history를 Fig 6에 나타내고 있다. 그래프를 보면 SAE bracket history인 경우 사용 가능한 최대 수명이 가장 짧은 것으로 나타나있고, Sample history의 경우가 비교적 하중의 변화가 완만함을 알 수 있다.

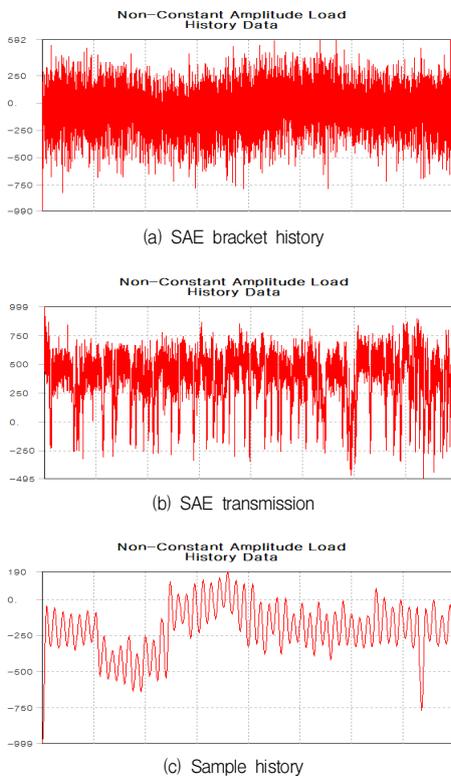


Fig. 7. Load histories at nonuniform fatigue loads

Fig. 8에서 보면 SAE bracket history의 피로 하중을 받는 모델의 해석 결과를 볼 수 있다. 결과를 보면 Model 1, Model 2, Model 3의 수명은 차이가 거의 나지 않는다고 볼 수 있다. 해석결과를 보았을 때에는 Model 1, Model 2, Model 3의 시트튜브에 가장 많은 피로가 가해졌다.

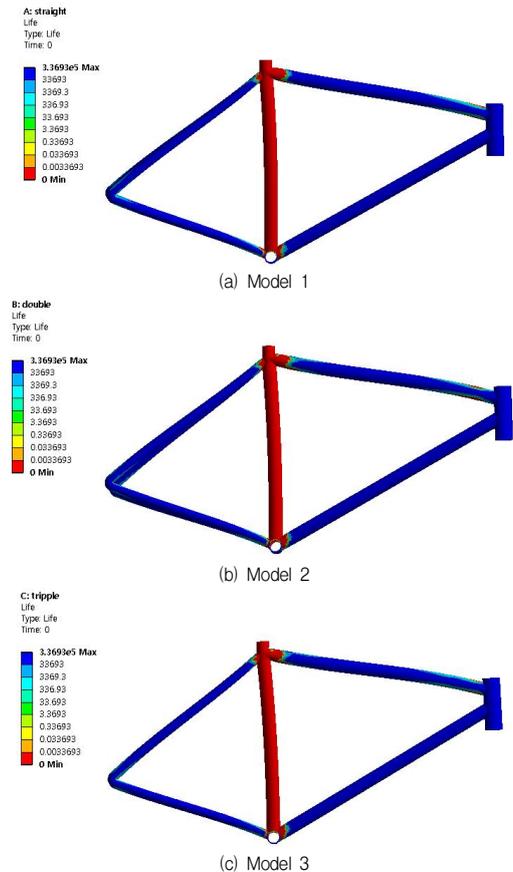


Fig. 8. Contour plots of fatigue life at SAE bracket history

Fig. 9에서 보면 SAE transmission의 피로 하중을 받는 모델의 해석 결과를 볼 수 있다. 결과를 보면 Model 1, Model 2, Model 3의 수명은 차이가 거의 나지 않는다고 볼 수 있다.

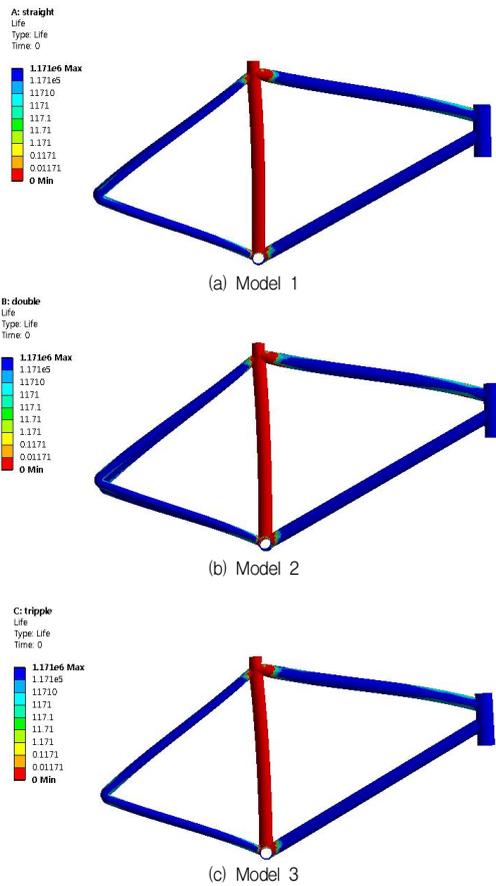


Fig. 9. Contour plots of fatigue life at SAE transmission

Fig 10에서 보면 Sample history의 피로 하중을 받는 모델의 해석 결과를 볼 수 있다. 결과를 보면 Model 1, Model 2, Model 3의 수명은 차이가 거의 나지 않는다고 볼 수 있다.

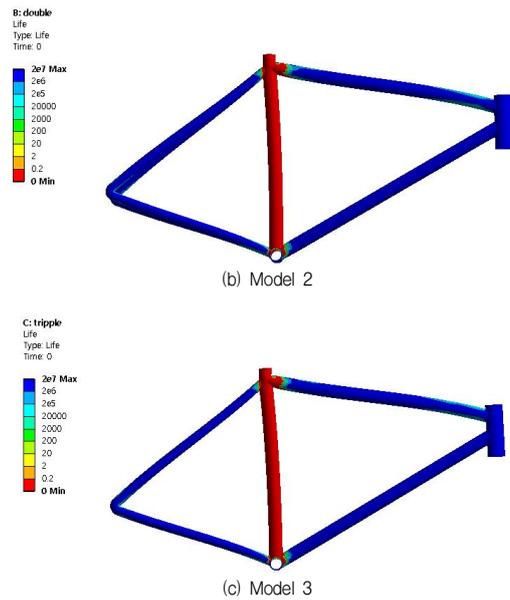
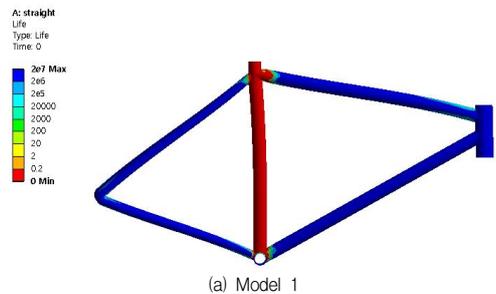


Fig. 10. Contour plots of fatigue life at Sample history

3. 결 과

이번 해석에서는 자전거 프레임의 Butted에 따른 구조적 내구성 해석을 통하여 프레임의 변형량과 응력, 피로 및 진동해석을 통하여 연구결과를 보였다.

- (1) 구조해석 결과, Model 1은 0.023093 mm, Model 2는 0.023068 mm, Model 3는 0.023063 mm이 변형 되었으므로 Model 1이 다른 모델보다 약간 더 변형되는 것을 해석의 결과를 통해 알 수 있다. 안장 부분과 연결되어 있는 프레임의 등가응력이 크기 때문에 프레임의 강도가 약해진 것을 알 수 있다.
- (2) 피로해석 결과, Model 1, Model 2 그리고 Model 3의 피로하중이 비슷함을 볼 수 있다. Butted 형상에 따라서는 프레임의 수명에 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.
- (3) 본 연구를 진행하여 얻은 결과를 통하여 자전거 프레임의 Butted의 종류에 따른 해석 결과 데이터를 활용 하여 자전거 프레임 설계 및 제작 시에 참고하여 구조적으로 안정화 될 수 있다고 사료되며, 내구성과 수명을 참고 할 수 있는데 용이할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] S. J. Han, S. U. Kim, J. H. Cho & K. C. Koo (2017). Ergonomic Evaluation of Indoor Bike Coordinated with Virtual Images. *Journal of Digital Convergence*, 15(5), 443-451.
- [2] G. W. Hwang & J. U. Cho. (2017). Convergence Study on Durability Improvement due to Radius of Arch Type at CFRP Structure with Stacking Angle. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(7), 219-224.
- [3] J. W. Park. (2017). Structural Analysis of a Tractor Cabin Considering Structure Production Error. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(5), 155-160.
- [4] J. I. Lee. (2017). The Convergence Design for Stiffness and Structure Advancement of Automotive Body. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(4), 189-197.
- [5] M. K. Park & B. G. Lee. (2018). A Study on the Structural Analysis of the Spindle of Swiss Turn Type Lathe for Ultra Precision Convergence Machining. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(5), 145-150.
- [6] J. H. Lee & J. U. Cho (2016). Convergence Technique Study of Model Tie Rod End by Configuration through Simulation Analysis. *Journal of the Korea Convergence Society*, 7(1), 161-166.
- [7] J. L. Cui, M. H. Chey & S. I. Kim. (2015). Seismic Performance of Urban Structures with Various Horizontal Irregularities using Equivalent Static Analysis. *Journal of Convergence for Information Technology*, 6(1), 25-32.
- [8] J. H. Hyeon, Y. H. Moon & S. W. Ha. (2018). Development of Automation Software for Corner Radius Analysis of Composite Laminated Structure. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(3), 107-114.
- [9] J. U. Cho. (2015). Study on Convergence Technique through Structural Analysis on the Axle of Railway Vehicle. *Journal of the Korea Convergence Society*, 6(1), 93-101.
- [10] J. W. Park & E. D. Kim & J. U. Cho. (2018). Analysis Study on Influence that the Center Hole Notch of CFRP with Laminated Structure Affects. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(2), 323-329.
- [11] C. H. Yoon & K. D. Choi. (2016). A Study on the Double Mediation Analysis in Structural Equating Models with Bootstrapping Using R. *Journal of Digital Convergence*, 14(9), 111-121.
- [12] D. C. Lee & K. W. Kang. (2013). Quasi Static Fatigue Analysis of Spot Welding Component considering Change of Stiffness. *Journal of the Korea Convergence Society*, 4(2), 21-27.
- [13] C. S. Kim. (2017). Fatigue Analysis of the Welded Bogie Frame for Rolling Stock Considering Dynamic Effects. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, 19(1), 100-106.
- [14] B. S. Kong. (2003). A Study on Optimal Design and Fatigue Experiment by Parameters of the Shape for U-Rib in Orthotropic Steel Deck Bridge(I). *Journal of the Korea Construction and Environment Association*, 2(3), 111-121.
- [15] S. J. Kim. (2006). Fatigue analysis of steel-girder bridges by reliability theory. *Bulletin of the Marine Science Institute*, 30(1), 59-66.

최 계 광(Gye-Gwang Choi)

[정회원]



- 1993년 2월 : Pusan University of Technology Metal Mold Engineering (공학사)

- 1995년 8월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)

- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학박사)

- 2005년 8월 : (주) 현대배관 기술부장

- 2006년 5월 ~ 현재 : 공주대학교 금형설계공학과 교수

- 관심분야 : 3D CAD, CAM Programing

- E-Mail : ckkwang@kongju.ac.kr

조 재 웅(Jae-Ung Cho)

[중신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)

- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)

- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)

- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

- 관심분야 : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

- E-Mail : jucho@kongju.ac.kr