

불규칙 피로하중을 받는 2인승용 자전거의 차대에 관한 내구성 연구

한문식*, 조재웅**,#

*계명대학교 기계자동차공학과, **공주대학교 기계자동차공학부

Durability Study on Two-passenger Bicycle Frame under Non-uniform Fatigue Load

Moonsik Han*, Jaeung Cho**,#

*Keimyung University Mechanical and Automotive Engineering Dept.

**Kongju National University Mechanical and Automotive Engineering Div.

(Received 15 April 2015; received in revised form 7 May 2015; accepted 15 May 2015)

ABSTRACT

This study investigates the durability of a two-passenger bicycle frame under non-uniform fatigue load. The bicycle frame of Model 1 installed with reinforcement support has a 20% lower maximum equivalent stress than the existing Model 2. Model 1 has a maximum total deformation that is less than half that of Model 2. Model 1 has a higher maximum fatigue life than Model 2. In addition, Model 1 has lower fatigue damage than Model 2. Thus, the bicycle frame of Model 1 installed with reinforcement support can be described as safer, as it offers more strength than Model 2. Applying this result to the design of a real two-passenger bicycle frame under non-uniform fatigue load can effectively prevent fatigue damage and improve durability.

Key Words : Bicycle frame for two passengers(2인승용 자전거 차대), Nonuniform fatigue load(불규칙 피로하중), Fatigue life(피로 수명), Fatigue damage(피로 손상), Durability(내구성)

1. 서 론

현재 온실 가스에 의한 지구 온난화와 그로 인한 각종 폐해가 심각해지고 이제는 가시화 되고 있다. 또한 국제 유가가 상승하면서 친환경적인 이동 수단이 주목을 받고 있다. 각종 친환경 자동차, 철도 등의 기술이 발달하고 있지만, 가장 대표적 친환경 교통수단으로 자전거가 각광을 받고 있다^[1-3]. 자전

거 인구가 급증하면서 자전거 차대를 포함한 각종 자전거 부품들에 대한 연구가 많이 진행되었으나 주로 1인승 자전거에 관한 것들이 대부분이다. 최근에는 자전거 인구가 증가함에 따라 연인이나 부부가 함께 자전거를 즐기는 사람들이 늘어나 2인승 자전거에 대한 수요도 늘고 있다. 하지만 2인승 자전거에 대한 연구는 많이 미흡한 것이 사실이다. 2인승 자전거에는 산악 자전거나 도로용 자전거 등을 가리지 않고, 보강대가 있는 형태와 보강대를 없애는 대신 자전거 차대를 구성하는 관재의 직경과 두께를 키워 보강한 형태의 것들이 주류를 이루

Corresponding Author : jucho@kongju.ac.kr

Tel: +82-41-521-9271, Fax: +82-41-555-9123

고 있다⁴⁻⁷. 따라서 본 연구에서는 자전거 차대를 보강대가 설치되어 있는 자전거 차대와 보강대 없이 직경과 두께를 키운 관재로 만든 자전거 차대로 나누어 서로 비교하면서 구조 해석을 하고 피로 하중에 따른 수명, 파손, 내구성 등을 고찰하였다⁸⁻¹¹. 본 연구의 결과를 실제 2인승 자전거의 차대 설계에 응용한다면 그 피로에 대한 파손 방지와 내구성을 향상할 것으로 사료된다.

2. 연구모델 및 구속조건

2.1 연구모델

본 연구에서는 두 가지 형태의 자전거 차대 모델들을 비교 해석하였다. 여기서는 차대의 구조에 따른 강도 해석이 목적이므로 차대 제작 시의 용접 등에 관한 해석은 하지 않았다. 각각의 차대는 하나의 단일 제품으로 단순화한 모델로 해석을 실시하였다. Fig. 1은 스트럿 바를 보강한 2인용 산악 자전거의 차대를 모델링하였고, Fig. 2는 기존의 차대에서 이 보강대를 제거하고 차대 관들의 직경과 두께를 키워 CATIA를 이용하여 모델링하였다. 해석에 사용된 모델들은 실제 시판되고 있는 2인용 산악 자전거의 설계도면을 참조하여 CATIA를 통해 모델링이 이루어 졌으며, 이후 ANSYS를 사용하여 해석 하였다. 본 해석에서 사용된 2인승 자전거 차

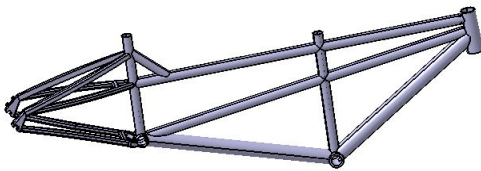


Fig. 1 Bicycle frame with the reinforcement support (Model 1)

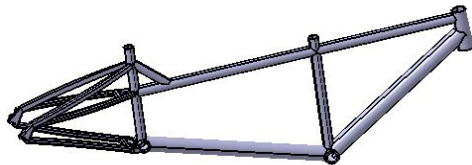


Fig. 2 Bicycle frame with the reinforcement support (Model 2)

대 모델들의 각 부위별 치수는 Table 1에 나타내었다. 또한 각 모델은 일부분이 속이 비어있는 중공

Table 1 Dimensions used at models of 1 and 2

Content Dimension	Model 1 (mm)	Model 2 (mm)
Pilot Down Tube External Diameter	50.8	56.0
Pilot Down Tube Internal Diameter	31.8	31.8
Stocker Down Tube External Diameter	50.8	55.0
Stocker Down Tube Internal Diameter	47.2	48.0
Top Tube External Diameter	35.0	36.0
Top Tube Internal Diameter	31.8	31.8
Seat Tubes External Diameter	35.0	35.0
Seat Tubes Internal Diameter	31.8	31.8
Strut Bar External Diameter	35.0	35.0
Strut Bar Internal Diameter	31.8	31.8
Tapered Head Tube External Diameter	Min:50.2 Max:58.2	Min:50.2 Max:58.2
Tapered Head Tube Internal Diameter	44.0	44.0
Pilot BB Shell External Diameter	50.8	50.8
Pilot BB Shell Internal Diameter	36.0	36.0
Stocker BB Shell External Diameter	43.0	43.0
Stocker BB Shell Internal Diameter	36.0	36.0
Chain Stays Dimension	W:12/H:20	W:12/H:20
Seat Stays Dimensions	W:20/H:19	W:20/H:19
Sub Seat Stays Dimensions	W:19/H:19	W:19/H:19
Drop Outs Diameter	15.0	15.0

Table 2 Material properties of models

Contents (Unit)	Value
Young's Modulus (MPa)	71000
Poisson's Ratio	0.33
Density (g/cc)	2.77
Tensile Yield Strength (MPa)	280
Compressive Yield Strength (MPa)	280
Tensile Ultimate Yield Strength (MPa)	310
Compressive Ultimate Yield Strength (MPa)	0

관재로 구성되어 있어 내부 직경과 외부 직경 치수가 있다. 또한 2인승 자전거의 차대이기 때문에 기존 1인승 자전거와는 다르게 차대가 크게 Pilot Tubing과 Stocker Tubing인 두 부분으로 나누어진다. 차이가 있는 부분은 명칭 앞에 구분을 두었다.

Model 1은 Mesh의 질점 수 및 요소 수는 각각 164362개, 81520개이며, Model 2는 Mesh의 질점 수 및 요소 수는 각각 97725개, 48445개이다. 이 두 모델 모두 보편적으로 사용되는 알루미늄 합금으로 이루어져 있으며 그 물성치를 Table 2에 나타내었다.

2.2 구속조건

보강대가 설치된 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 Model 1과 2의 경계 조건들은 Fig. 3, Fig.4와 같다. 차대의 Drop Outs 부분과 Head Tube 부분을 고정 시켰으며, Pilot Seat Tube와 Stocker Seat Tube의 내부에 사람의 하중과 충격 하중을 고려하여 각각 500N의 하중을 주어 자전거 차대 전체에 어떤 영향을 주는지 알아 볼 수 있게 하였다.

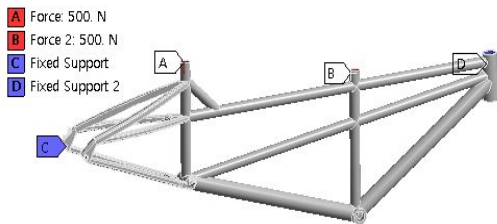


Fig. 3 Constraint condition of model 1

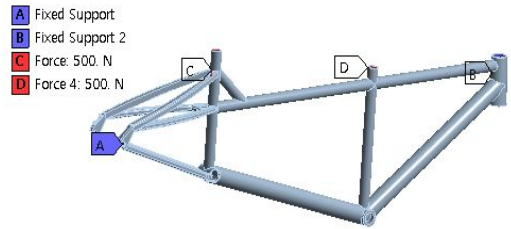


Fig. 4 Constrain condition of model 2

3. 연구결과

3.1 구조해석 결과

본 연구에서의 Model 1과 2에 대하여 정적인 구조 해석을 하였다. 각 모델들의 부위별 치수 및 경계조건은 앞서 2 절에서와 같다. Fig. 5는 보강대가 설치된 2인승 자전거 차대인 Model 1에 500N의 하중이 작용했을 때의 차대 전체의 변형량을 나타낸 그림이다.

Fig. 6은 동일한 하중이 작용 했을 때 보강대를 없애고 관재의 굽기와 두께를 키워 보강한 차대인 Model 2의 전체 변형량을 나타낸 그림이다. 보강대가 설치된 차대의 경우에 최대 변형량이 0.25995mm 인데, 보강대를 제거하고 차대 일부분을 굽기와 두께를 키워 보강한 차대의 경우 최대 변형량이 0.57152mm로 보강대가 설치된 차대에 2배가 넘는 변형량을 보인다. 보강대를 사용하지 않는 대신 Tubing 굽기를 최대 6mm, 두께도 2배 가까이 키워 보강했음에도 보강대를 설치한 차대보다 같은 조건에서 더 취약함을 알 수 있다.

Fig. 7은 보강대가 설치된 2인승 자전거의 차대인 Model 1에 500N의 하중이 작용할 때 차대의 전체적인 등가 응력을 나타낸 그림이다. Fig. 8은 차대 일부분의 굽기와 두께를 키워 보강한 2인승 자전거의 차대인 Model 2에 동일한 하중이 작용할 때, 전체적인 등가 응력을 나타낸 그림이다. 보강대가 설치된 2인승 자전거 차대의 경우 최대 등가 응력이 28.551 MPa 인데, 보강대를 사용하지 않고 차대 일부분을 보강한 경우에는 최대 등가 응력이 33.759

MPa 이다. 이는 보강대가 설치된 차대에 비해 그렇지 않은 차대는 Tubing 직경을 최대 6mm 늘리고 두께는 2배 가까이 키웠음에도 20% 이상 더 큰 응력을 받는 것을 의미한다. 따라서 보강대를 설치한 차대가 보강대 대신 차대의 일부분을 보강한 것 보다 더 안정적이고 튼튼하다는 것을 알 수 있다.

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

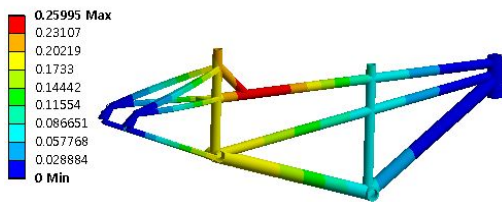


Fig. 5 Contour of total deformation at model 1

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1

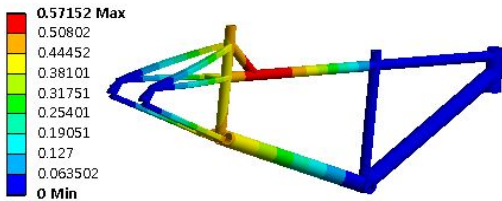


Fig. 6 Contour of total deformation at model 2

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1

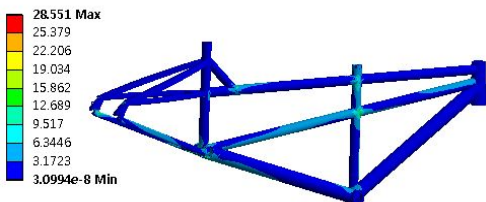


Fig. 7 Contour of equivalent stress at model 1

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1

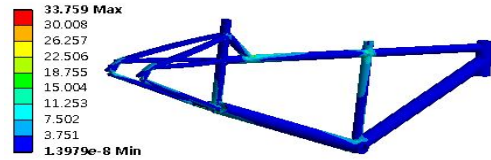


Fig. 8 Contour of equivalent stress at model 2

3.2 피로해석 결과

Model 1과 2의 피로에 대한 구속 조건은 2.2절에서와 같으며, 2인승 자전거 차대가 받는 피로 하중에 의한 피로 수명과 파손에 대하여 해석 하였다. Fig. 9 에서와 같이 피로 하중의 내역들로서 'SAE bracket history'를 사용하였다.

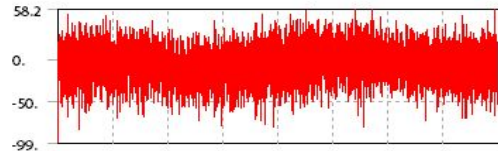


Fig. 9 SAE bracket history of fatigue load

Life
Type: Life
Time: 0

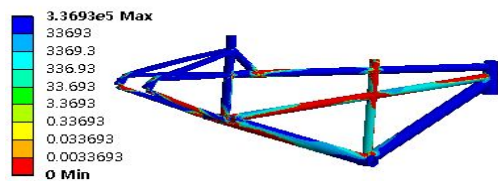


Fig. 10 Contour of fatigue life of model 1

Damage
Type: Damage
Time: 0

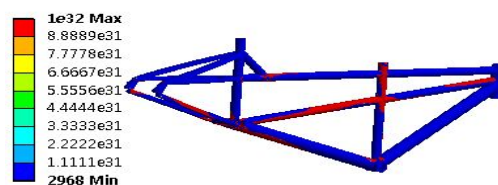


Fig. 11 Contour of fatigue damage of model 1

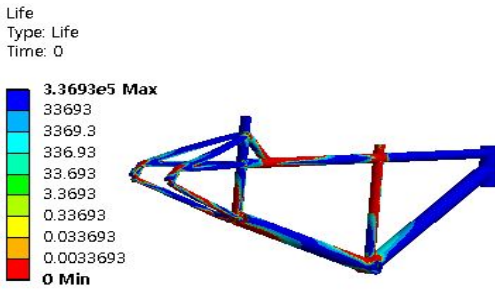


Fig. 12 Contour of fatigue life of model 2

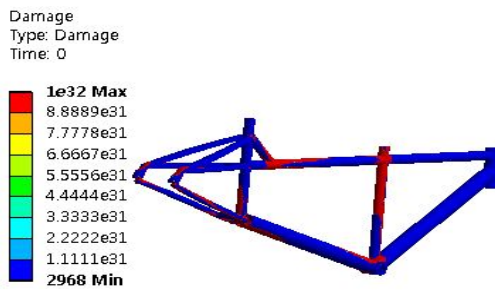


Fig. 13 Contour of fatigue damage of model 2

Fig. 10과 11은 보강대가 설치된 2인승 자전거 차대인 Model 1의 피로 하중에 의한 수명과 피로 하중에 대한 손상의 등고선을 각각 나타낸 그림이다. 보강대가 설치된 차대인 Model 1의 경우에 최대 손상이 1×10^{32} 이 나왔으며, 수명의 경우에 최소 수명이 0 사이클이 나왔다.

Fig. 12는 보강대를 사용하지 않는 대신 차대의 일부분의 직경과 두께를 키워 보강한 Model 2의 피로 하중에 의한 수명을 나타낸 그림이며, Fig. 13은 그 피로 하중에 대한 손상을 나타낸 그림이다. 보강대 없이 차대 일부분의 직경과 두께를 키워 강화한 경우 최대 손상이 1×10^{32} 이 나왔고, 최소 수명의 경우 0 사이클이 나왔다.

Model 1과 Model 2의 수명이 수치적으로 똑같이 나왔지만 그림에서 보면 Model 2의 붉은색 부분이 더 많은 것을 볼 수가 있다. 또한 Fig. 13에서 보면 Model 2의 붉은색 부분이 더 많은 것을 볼 수가 있다. 따라서 Model 2의 수명이 적고 더 많은 손상을 받은 것을 확인하였다.

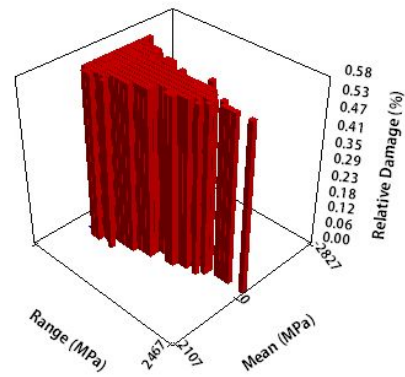


Fig. 14 Fatigue damage matrix of model 1

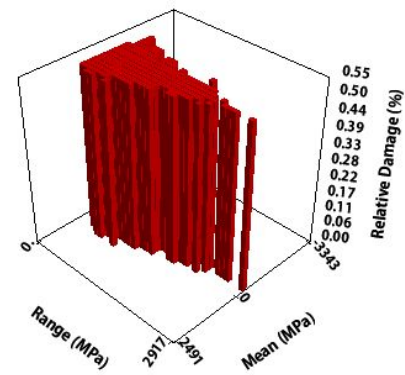


Fig. 15 Fatigue damage matrix of model 2

Fig. 14와 Fig. 15는 두 가지 종류의 차대인 Model 1과 2에 대하여 임계 위치에서의 Damage 매트릭스들에 대한 그림들로서 불규칙 진폭 하중에 대해서만 적용되고, 10^9 사이클의 무한 수명에 대한 상대적 손상 가능성을 나타내고 있다. Fig. 15에서와 같이 보강대가 있는 차대인 Model 1의 Damage 매트릭스(Fig. 14)에서 응력의 범위가 최소 0MPa에서 최대 2467MPa이며, 평균 응력은 최소 -2827MPa에서 최대 2107MPa이다. 이 차대의 경우에는 최대 손상이 0.58% 발생할 가능성을 보이고 있고, 따라서 이곳에서 파손이 발생할 가능성이 많다는 것이 예측된다.

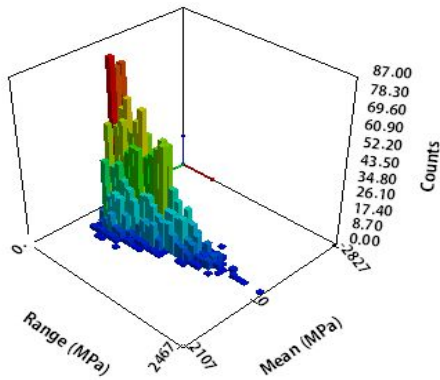


Fig. 16 Rainflow matrix of model 1

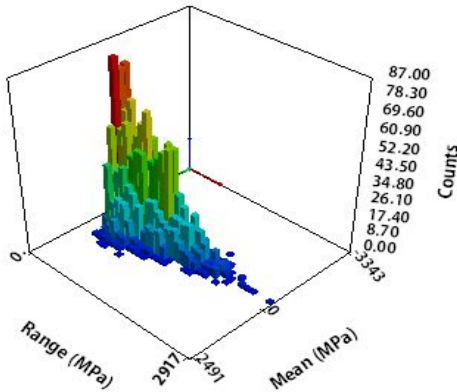


Fig. 17 Rainflow matrix of model 2

Fig. 15에서와 같이 보강대 없이 기존 차대의 일부분을 강화한 차대인 Model 2의 Damage 매트릭스를 보면 응력의 범위가 최소 0MPa에서 최대 2917MPa 이며, 평균 응력의 경우 최소 -3343MPa에서 최대 2491MPa 이다. 이 차대의 경우도 보강대가 있는 차대와 마찬가지로 최대 0.55%의 손상 가능성을 보이고 있다.

Fig. 16과 Fig. 17은 차대 모델인 Model 1과 2에 대한 Rainflow 매트릭스들이다. 응력의 범위와 평균 응력의 범위 값은 먼저 Damage 매트릭스에서의 범위와 동일하다. 보강대가 설치된 차대의 경우와 보강대 없이 기존 차대의 일부분을 보강한 경우 모두 Counts의 범위가 0에서 87까지이다. 이는 보강대를 사용하지 않는 차대인 Model 2가 좀 더 많

이 흔들린다는 것을 의미한다. 보강대가 설치된 Model 1이 좀 더 안정적인 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 2인승 자전거 차대를 두 가지 경우로 나누어 정적 구조해석, 피로 하중에 따른 수명 및 파손 등 내구성에 관한 해석을 하여 다음과 같은 연구 결과를 보였다.

1. 보강대를 설치한 Model 1의 차대가 보강대가 없는 기존의 Model 2인 차대보다 약 20% 적은 최대 등가 응력을 받으며 절반 이하의 최대의 전 변형량을 보였다. 이는 보강대를 설치한 차대가 더 안정적이며 강성이 높다는 것을 의미한다.
2. Model 1이 Model 2보다 피로수명이 더 많고 손상이 더 적음을 확인하였다. 보강대를 설치한 차대가 형상 단순화 및 경량화를 목적으로 보강대를 사용하지 않고 기존의 차대를 약간 보강한 것보다 더 튼튼한 것을 알 수 있다.
3. 본 연구의 결과를 실제 2인승 자전거의 차대 설계에 응용한다면 그 피로에 대한 파손 방지와 내구성을 효율적으로 향상할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Moonsik Han, Jeung Cho, "Study on Bike Frame due to Nonuniform Fatigue Loads", Transaction of Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 20, No. 3, pp.133-140, 2012
2. K. S. Koo and D, J, Kweon. "The analysis on audible noise level and cooling performance for the low noise cooling fan of power transformers", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 23, No. 8, pp. 110-115, 2009.
3. J. U. Cho and M. S. Han. "Analysis of the Sir Flow due to the Number of Electric Fan Blades", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No.

- 1, pp. 107-112, 2012.
4. K. J. Oh and C. K. Bae. "Numerical Analysis of the Viscous Flow Around a Front End Cooling Fan of the Car", Journal of Korean Society of Industrial Application, Vol. 10, No. 4, pp. 221-226, 2007.
5. K. J. Oh, W. B. Cho, C. K. Bae, S. H. Lee, S. B. Lee, P. H. Ju and J. C. Kim. "Development of the Front End Cooling Fan of a Car", KSFM, pp. 384-389, 2005.
6. J. H. Kim, I. S. Jung, J. M. Seo, N. K. Hur and J. H. Jung. "An investigation on development of bus electrical cooling fan system", Journal of Korean Society for New and Renewable Energy, pp. 144.1-144.1, 2010.
7. J. U. Cho and M. S. Han, "Structural Durability Analysis According to The Thickness of MTB Frame Tubes", Journal of the society of Machine Manufacturing, No. 11, Vol,3, pp.122-129, 2012.
8. J. U. Cho and M. S. Han, "Structural Durability Analysis Related to Shape and Direction of Bicycle Frames", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, No. 22, Vol. 6, pp. 969-975, 2013.
9. H. W. Rhee, "Fatigue Behavior Analysis of Welded Rod/Knuckle Assembly for Hydraulic Cylinder", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 4, pp. 93-99, 2013.
10. S. G. Han, Y. I. Shin, C. H. Yoon and C. K. Song, "Strength and Durability Analysis of the Double Planetary Gears", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 5, pp. 28-34, 2014.
11. Y. J. Shin, C. H. Choi, S. G. Lee and J. H. Kim, "Fatigue CAE Analysis of a Rebar Bending Machine Rolle", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 2, pp. 75-80, 2015.