

## 자전거 프레임 두께에 따른 내구 설계

한상근\*, 천세영\*, 강성기\*.#

\*한국폴리텍대학 창원캠퍼스 컴퓨터응용기계설계과

### Durability Design of the Thickness of Bicycle Frames

Sang Geun Han\*, Se Young Chun\*, Seong Ki Kang\*.#

\*Computer Aided Mechanics Department, Changwon Campus Korea Polytechnic

(Received 5 October 2015; received in revised form 20 October 2015; accepted 21 October 2015)

#### ABSTRACT

The thickness of a stable and economical frame has been designed in order to reduce costs. Therefore, this study applied structural analysis and vibration analysis based on a comparison of the thicknesses of frames. Four types of frames (1mm, 2mm, 3mm, and 5mm) were modeled on a bicycle frame that has a length of 842mm, a width of 100mm, and a height of 400.5mm, and all of these frames generated the stress and maximum deformation amount in the state and around the saddle. The maximum stress shown was 25.732 MPa in 1mm, 11.79 MPa in 2mm, and 8.2015 MPa in 3mm, and the maximum deformation amount shown was 0.063611mm in 1mm, 0.031978mm in 2mm, and 0.022319mm in 3mm. The natural frequency of the frame thicknesses 1mm, 2mm, and 3mm was estimated as within 270 Hz. The critical frequency of conditions of 3mm was the biggest at 118.1Hz compared with the 3-mm model; thus, 3mm was shown to have the most satisfactory resistance.

**Key Words** : Bicycle Frame(자전거 프레임), Modal Analysis(모달 해석), Von-mises Equivalent(주응력), Frequency(진동수)

### 1. 서 론

현재 전 세계적으로 지구 온난화가 화두로 떠오르고 있고, 국제 유가는 지속적으로 상승하는 가운데 친환경 이동수단에 관심이 집중되고 있다. 하이브리드 자동차 등과 같이 높은 기술력을 바탕으로 하는 사업들이 속속 등장하고 있지만 그 중 친환경 이동수단으로서 가장 대표적으로 알려져 있는 자전거에 대해서는 관심은 높으나 안전성 및 내구성에 대한 연구 자료가 많이 부족한 편이다.

자전거의 경량화를 위해 소재를 알루미늄 및 카본, 티타늄 등을 사용하여 더 단단하고 가볍게 만드는 연구는 많이 활성화 되었으나 이와 다르게 자전거의 구조는 1980년대 이후로 다이아몬드 프레임의 형태가 주를 이루고 있다.<sup>[1-2]</sup> 현재까지 자전거는 200여 가지 부품들이 결합하여 생산되는 전형적인 조립품으로 여러 가지 부품들이 자전거에 사용되지만, 이중 자전거 프레임은 자전거의 가장 중요한 요소로서 운전자의 하중을 견디고 지면에서의 충격의 흡수나 진동을 흡수하여 자전거의 수명과 직결된다.<sup>[3]</sup>

본 연구에서는 프레임의 두께별로 모델링을 비교하여 이에 따른 구조 및 진동해석을 통하여 프레임의 내구성과 안전성을 확보하고자 하였다.<sup>[4-5]</sup>

# Corresponding Author : kskjh114@kopo.ac.kr

Tel: +82-10-2877-6198, Fax: +82-55-260-1175

## 2. 연구모델과 실험조건

### 2.1 연구모델

본 연구에서는 3가지 형태의 자전거 프레임(Bicycle frame) 모델을 서로 비교하여 해석하였으며 프레임의 두께에 따른 구조해석이 목적이므로, 각 프레임은 하나의 부품으로 단순화하여 불필요한 파이프의 용접은 제거하였다. 해석에 사용된 소프트웨어는 상용되고 있는 ANSYS Workbench 15.0이며 적용된 프레임 모델에서는 Table 1과 같은 규격으로 설계하였다.

상용화되고 있는 접이식 자전거의 다이아몬드형 프레임 두께는 3-4t(Al6061합금-T91)를 모델링한 후 두께 1mm, 2mm, 3mm, 5mm 조건을 주어 해석을 실시하였다. 모델의 형상은 Inventor로 모델링한 후 ANSYS에서 해석하였으며 Table 2와 같이 Al 6061 합금-T91의 물성 값을 적용하였다.

Fig. 2는 메시(mesh) 작업한 결과이며 Nodes 수는 12,200개, Elements는 4,529개 이다.

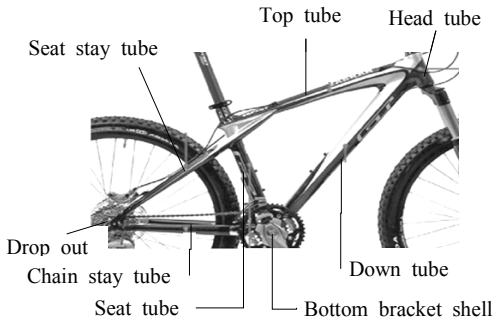


Fig. 1 Structure of diamond frame

Table 1 Dimensional of modeling applied to each part

Item	Value
Top tube diameter	24mm
Down tube Diameter	24mm
Head tube Diameter	30mm
Seat tube Diameter	24mm
Seat stays Diameter	15mm
chain stays Diameter	15mm
bottom bracket Diameter	60mm
Drop outs Diameter	40mm

Table 2 Properties of the aluminum alloy

Property	Value
Modulus of Elasticity (GPa)	69.0
Poisson's ratio	0.33
Density (g/cc)	2.70
Tensile Strength, Yield (MPa)	395
Compressive yield strength MPa)	280
Tensile Strength, Ultimate (MPa)	405

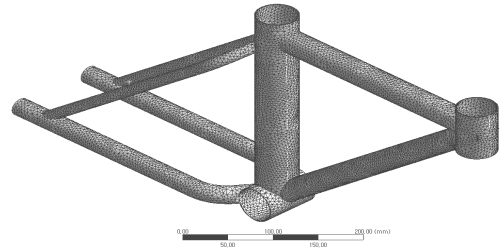


Fig. 2 3D meshing of frame model

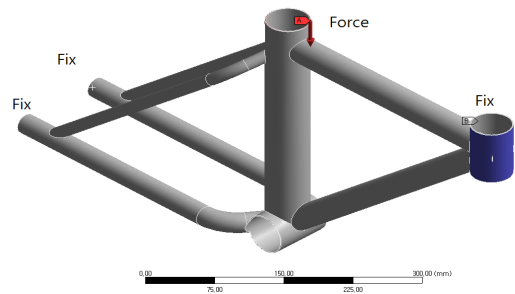


Fig. 3 Fixed support and force condition

### 2.2 모델의 경계 조건과 하중

모델의 경계조건은 Fig. 3과 같이 앞바퀴와 뒷바퀴가 설치되는 곳을 Fixed support 하였으며, 운전자가 앉음으로 인하여 안장에 받는 무게의 영향은 프레임의 내구성에 영향을 주지 않는 작은 하중이라 고려하지 않았다. 따라서 운전자의 하중이 전달되는 곳인 시트클램프 부위에 사람의 하중에 충격 하중을 고려하여 Force를 2,452 N을 주어 자전거 프레임 전체에 어떤 영향을 미치는지 알아볼 수 있도록 설정하였다.

### 3. 해석결과 및 고찰

#### 3.1 튜브의 두께에 따른 구조해석

Fig. 4는 두께 1mm 프레임의 하중에 대하여 모델의 응력을 나타낸 것이다. (a)에서 프레임의 시트 스테이 중심 부근에서 최대 25.732 MPa의 응력값이 발생하였고 (b)에서는 프레임의 안장부분에서 최대 0.063611mm의 변위가 발생하였음을 알 수 있었다.

Fig. 5에서는 (a)의 경우 두께 2mm 프레임의 하중에 대하여 모델의 최대응력을 나타낸 것으로 두께 1mm 프레임 모델과 마찬가지로 자전거 스테이트 부분에서 11.79 MPa의 최대응력이 발생하였는데 두께 1mm 모델에 비하여 13.942 MPa 정도의 최대 응력이 줄었음을 알 수 있었다. 또한 (b)의 경우에는 두께 2mm 프레임의 하중에 대하여 모델의 최대 변위량을 나타낸 것으로 두께 1mm와 같이 안장부분에서 최대 변위량인 0.031978mm의 응력 값이 발생되었다.

Fig. 6은 두께 3mm 프레임의 하중에 대하여 모델의 응력을 나타낸 것인데 다른 두께의 프레임의 모델과 마찬가지로 시트 스테이 중심 부근에서 8.2015 MPa의 최대응력이 발생되었는데 두께 1mm 모델에 비하여 17.35 MPa 정도, 두께 2mm 모델에 비해서는 3.5885 MPa 정도의 응력이 줄었음을 알 수 있었다. 따라서 1mm, 2mm, 3mm 두께의 프레임 모델링 한 3가지 프레임 모두, 안장부분 주위에서 최대 변위량이 발생되었다. 최대변위량은 1mm에서 0.04129 mm이며, 2mm에서 0.022319mm, 튜브 두께가 가장 두꺼운 3mm 모델에서 0.031978mm 발생하였다. 최대응력에서는 1mm에서 25.732 MPa, 2mm에서는 11.79 MPa, 3mm에서는 8.2015mm로 튜브의 두께 3mm에서 응력과 변위량이 가장 적게 나타나는 것을 볼 수 있었는데 이것은 튜브의 두께가 클수록 안전성이 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 두께 5mm 프레임의 하중에 대한 모델의 응력을 나타낸 것으로 다른 두께의 프레임의 모델과 마찬가지로 (a)에서 시트 스테이 중심 부근에서 6.5292 MPa의 응력이 발생하여 두께 3mm 모델에 비하여 1.6723 MPa 정도의 응력이 줄었음을 알 수 있었다.

(b)는 모델의 최대 변위량을 나타낸 것인데 두께 3mm와 마찬가지로 안장부분에서 0.007932mm의 최대 변위량이 발생되었다.

본 연구에서 알 수 있는 점은 1mm, 2mm의 두께에서 최대 응력값 차이는 13.942 Mpa이고 3mm와 5 mm의 두께 차이에서는 1.6723mm 정도 차이가 나지 않는 점을 알 수 있었는데 최대 변위량 또한 1mm와 2mm에서 변위량 차이는 0.031633mm이며, 3mm와 5mm에서는 0.007932mm의 적은 차이 값을 나타내고 있었다. 따라서 ANSYS 해석을 이용한 해석결과 1mm가 가장 취약 하다는 결과가 나타났으며 1mm와 2mm에서의 응력 차이는 튜브 1mm의 두께 차이에서 13.942 MPa 이라는 높은 응력의 결과 값을 나타내었지만 그 이후부터는 1.5 MPa 정도의 미미한 변화만 나타나고 있었다. 최대 변위량도 마찬가지로 1mm, 2mm에서 차이 값과 3mm에서 5mm의 차이 값을 보면 3mm와 5mm의 차이 값에서 2mm의 차이가 나지만 0.031633mm와 0.007932mm의 차이로 적은 변위량이 발생되었음을 알 수 있었다. Table 3은 최대응력과 변위량에 대한 결과 값을 보여주고 있다.

Table 3 Von-mises stress and deformation on thickness

Section	Von-mises stress(Mpa)	Deformation(mm)
1mm	25.732	0.063611
2mm	11.79	0.031978
3mm	8.2015	0.022319
5mm	6.529	0.014387

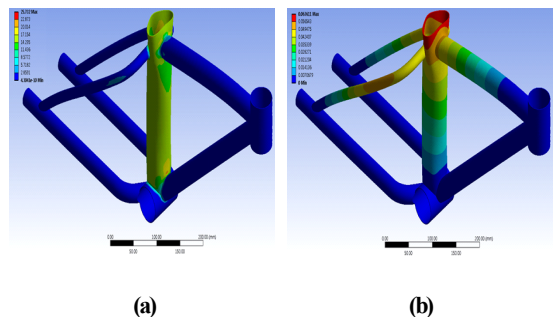


Fig. 4 Von mises stress and deformation on thickness (1mm)

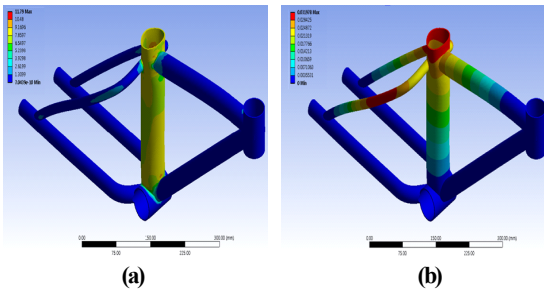


Fig. 5 Von mises stress and deformation on thickness(2mm)

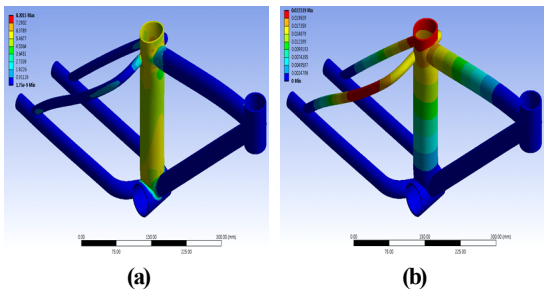


Fig. 6 Von mises stress and deformation on thickness (3mm)

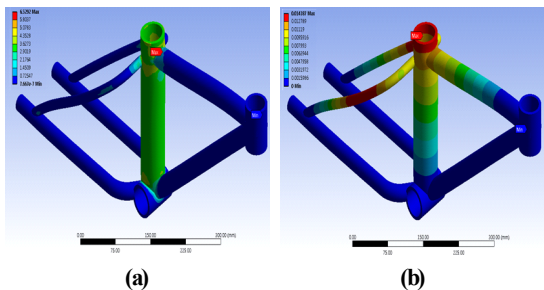


Fig. 7 Von mises stress and deformation on thickness (5mm)

#### 4. 하모닉 해석

튜브 두께 1mm, 2mm, 3mm에서 Fig. 3과 같이 Fixed support 하여 고유진동해석에서 Mode 1차부터 6차까지의 진동모드에 대하여 y방향의 최대 변위량을 도출하였는데 결과 값은 Table 4와 같다.

고유진동해석을 한 결과, 6차까지의 진동 모드에

서 260 Hz까지 일어 날 수 있음을 알 수 있어 실제적인 하중을 받는 경우에서의 위험 진동수를 해석할 수 있었다.<sup>16-9)</sup>

구조 해석한 조건에서 고유진동 해석을 실시하여 Table 4에서 보는바와 같이 프레임 포크에 최대 260 Hz를 가하여 그에 따른 진동과 변형에 대해서 하모닉 진동해석을 하였다. 튜브 1mm 프레임에서는 Fig. 8에서와 같이 진동수 15.746 Hz에서의 최대의 변위량을 보였다.

또한 튜브 2mm의 경우 Fig. 9에서와 같이 진동수 99 Hz에서의 최대의 변위를 보였는데 위험 진동수는 98.51 Hz이다. 그리고 튜브 3mm의 프레임에서는 Fig. 10에서와 같이 진동수 118.1 Hz에서의 최대의 변위를 보였다.

따라서 튜브 3mm의 프레임에서 위험 진동수가 118.1 Hz로 높아 진동에 대한 내구성에 가장 양호

Table 4 Vibration analysis and deformation on thickness

Mode	Frequency(Hz)			Deformation(mm)		
	1mm	2mm	3mm	1mm	2mm	3mm
1	15.746	14.6	25.469	0.02578	0.30023	0.02141
2	36.33	35.5	39.71	0.27317	0.60198	0.32643
3	73.83	66.9	76.9	0.54739	0.56799	0.5449
4	98.51	103.6	118.1	0.51908	0.25917	0.54267
5	115.2	129.72	127	0.79659	0.36776	0.825
6	201.9	265.95	256.3	0.36058	0.17696	0.21524

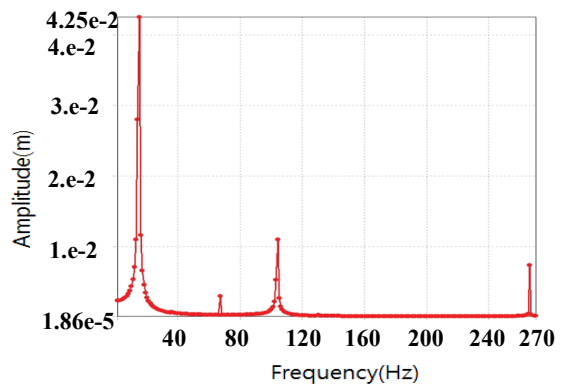


Fig. 8 Frequency response of tube frame (1mm)

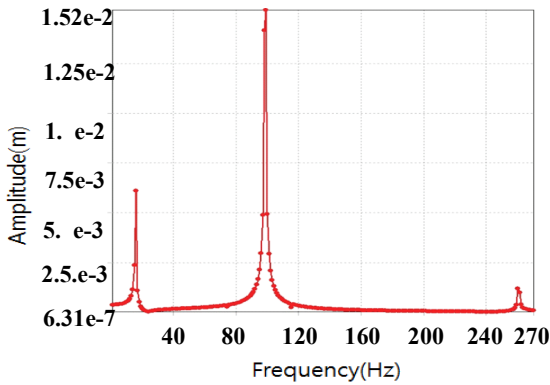


Fig. 9 Frequency response of tube frame (2mm)

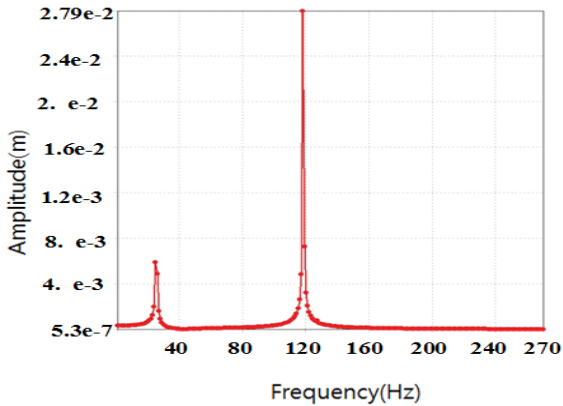


Fig. 10 Frequency response of tube frame (3mm)

함을 알 수 있었다. 자전거를 도로의 정도에 따라 노면에서 탈 때에는 몸에 전달되는 진동을 덜 느끼기 위해서 3개의 모델 중에서 변위량이 적은 튜브 3mm 프레임을 선택함으로써 그 진동에 의한 충격을 덜 받을 수 있는 것으로 분석되었다.

## 5. 결 론

1. 상용화되고 있는 접이식 자전거 프레임의 두께를 1mm, 2mm, 3mm, 5mm 조건으로 모델링하여 구조 해석한 결과 4가지 조건 모두에서 스테이트 부위에서 응력이 발생하였고 최대 변위량은

안장 주위에서 발생하였다.

- 프레임의 두께가 1mm와 2mm에서의 최대응력의 차이는 13.942 MPa 이고 3mm와 5mm에서는 두께가 2mm 차이가 있지만 응력 발생에서는 1.6723 MPa로 변화가 적게 발생되었다. 또한 변위량에서도 1mm에서 0.063611mm로 가장 많은 변위가 일어났으나 2mm, 3mm, 5mm에서는 낮은 변위를 가졌다. 본 실험에서는 프레임의 두께가 2mm 이상에서 안전성을 확보할 수 있었다.
- 모달 해석을 통해 진동수를 구하고 하모닉 해석을 한 결과 프레임 두께 1mm, 2mm, 3mm 조건에서 고유진동수는 270 Hz 이내 있었으며, 3mm에서 위험 진동수가 118 Hz로 나타나 진동에 대한 내구성이 가장 우수한 것으로 분석되었다. 또한 2mm, 1mm에서는 각각 103.6 Hz, 98.51 Hz 순으로 나타났다.
- 구조해석을 통해 프레임 3mm에서 최대응력 8.2015 MPa와 변위량 0.031978mm를 나타내었고 하모닉 해석에서 진동수 118.1 Hz에서 가장 내구성이 우수하여 안전성, 경제성을 확보할 수 있었다.

## 후 기

“이 논문은 2015년도 한국폴리텍대학 FL System에 의한 프로젝트과제 수행 결과로 연구되었음.”

## REFERENCES

- Bae, W. R, Shin, D. W, Shim, B. K. Kim, B. M. Shin, S. I. and Kwon, Y. K., “Development of Loca-lization Bicycle Frame Using Al 6061,” Proc. KSPE Spring Conf., pp. 853- 854, 2010.
- Lee, Y. H, Kim, S. I, Suh, M. W, Son, H. S. and Kim, S. H., “Linearized Dynamic Analysis of a Four-wheel steering Vehicle,” Trans. Korean Soc. Automot. Eng., Vol. 2, No. 5, pp. 101-109, 1994.

3. Cho, J. U. and Han, M. S., "Structural Strength Analysis of shock Absorber," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 9, No. 2, pp. 53-59, 2010.
4. Hur, J. W., "Study on Fatigue Life Estimation for Aircraft Engine Support Structure," Trans. Korean Soc. Mech. Eng., Vol. 34, No. 11, pp. 1555-1784, 2010.
5. Swanson, J., ANSYS 12.0, ANSYS Inc, U.S.A, 2009.
6. Kim, K. J., Jung, M. R., Kim, Y. T., Baek, K. Y. and Lee, J. H., "Inelastic Nonlinear Analysis of Arch Truss and Space Truss Structures," J. Korean Assoc. Spat. Struct., Vol. 8, No. 5, pp. 47-58, 2008.
7. Yoon, S. W. and Park, Y., "Comparison of Natural Frequency of Domestic and Foreign Long-spaned Structure," J. Korean Assoc. Spat. Struct., Vol. 9, No. 3, pp. 79-85, 2009.
8. Cho, J. U. and Han, M. S., "Structural Strength Analysis according to the Configuration of Speaker Placer with Wall Hanger Type," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 12, No. 1, pp. 1-8, 2013.
9. Han, M. S. and Cho, J. U., "Structural Safety Analysis on Bicycle Suspension Seat Post," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 11, No. 4, pp. 72-81, 2012.