

자전거 프레임 특정부분의 보강효과와 프레임에 미치는 응력과 변형 연구

김 태 훈 · 양 동 민 · 하 윤 수

한국해양대학교, 기계시스템공학과

초록

In this paper, 2 kinds of models about bike frame are simulated with static structural analysis. A bike frame with diamond type is compared with another model that Down tube is eliminated from original diamond frame. About both types of models, Property of a material and conditions of restriction & load are the same. This study shows reinforcement effects of a partial frame by adding down tube and impacts generated by applying a load at the frame such as weak points & high stress parts as well as expected deformation.

The structural result of this study indicates that the equivalent stress or total deformation decreases by 57.1% or 36.4%, respectively. Also stress concentration sites are leg connecting parts, front/rear wheels fixed region and Max deformation is generated from Seat tube. In conclusion, A Down tube is highly efficient as reinforcement than frame without non down tube. Furthermore, The safety rises in case of reducing top tube thickness and increasing a reinforcement at leg connecting parts or concentration regions.

Keywords : *Bike frame, Static structural analysis, Reinforcement, Total deformation, Equivalent(von-Mises) Stress*

1. 서 론

1790년 최초 자전거의 발명이 이루어진 이후로 꾸준히 인간의 이로움에 도움을 주었으며, 최근 친환경 정책에 따른 자전거의 활용이 더욱 늘고 있다. 자전거는 용도에 따라서 다이아몬드 형, 모노튜브 형 등의 다양한 프레임 형태와 강철, 알루미늄, 카본, 티타늄 등의 여러 소재로 만들어지고 있는 만큼 경량화와 고강도화가 요구되고 있으며, 이에 대한 질적 대비 가격 경쟁력도 중요한 요소가 되고 있다. 따라서 무게, 강도, 안정성, 가격 등에 기초가 되는 소재와 형상 중에서 재료적 변화를 고려하지 않은 자전거의 구조적 형상에 집중하게 되었다.

자전거의 프레임은 국제 싸이클 연맹에 의해 규격화 되어 있으며 그중에서도 가장 기본적인 형태 “다이아몬드 형 프레임”에 대한 특정 부위 부재의 보강효과와 프레임에 발생하는 응력, 변형에 대해 연구하였다. 3D 모델링, mesh 작업 후 구조 해석 시뮬레이션을 통해 동일한 하중조건 과 구속경계조건을 토대로 어느 한 부위의 보강이 있을 때와 없을 때의 변형과 응

력집중에 대한 결과를 얻고 차이를 분석하고 프레임에 가장 많이 집중되는 응력, 변형률 부위를 찾아서 다양한 하중에 대한 요구강도와 충분한 안전성을 만족시키는 지를 해석해보았다.

2. 본 론

이 장에서는 연구모델을 소개 한 후 지정한 하중과 구속조건, 재료에 대한 설명과 모델링 후 정적인 구조해석을 통한 Total deformation, Equivalent(von-Mises) Stress 의 결과값 비교를 보여주고자 한다.

2.1 연구모델

본 연구에서는 2가지 형태의 자전거 모델을 서로 비교 분석하였다. 첫 번째 형태의 자전거 모델은 자전거 프레임의 기본적인 형태인 다이아몬드 형 프레임으로서 Fig. 1와 같이 크게 헤드 튜브 (Head tube), 탑 튜브(Top tube), 다운 튜브 (Down tube), 시트튜브 (Seat tube), 시트 스테이

(Seat stay), 체인 스테이 (Chain stay)로 이루어져 있다. 두 번째 비교모델로서는 같은 프레임에서 주요 부분인 다운튜브(Down tube)만을 제거한 모델을 사용하였다. 모델링에 대한 자세한 치수는 Fig. 2, Fig. 3과 같이 적용하였다. 여기서 자전거 프레임 각각의 두께는 5mm인 판이다. 이를 통해 프레임 부위별 발생하는 응력, 변형을 알아내고 다운튜브의 보강효과에 대해 논의하였다.



Fig. 1 Components of the bicycle frame.

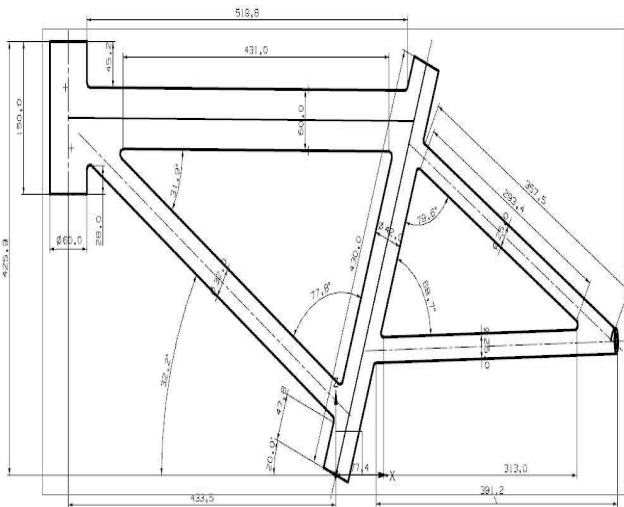


Fig. 2 2D front dimension of the bicycle frame.

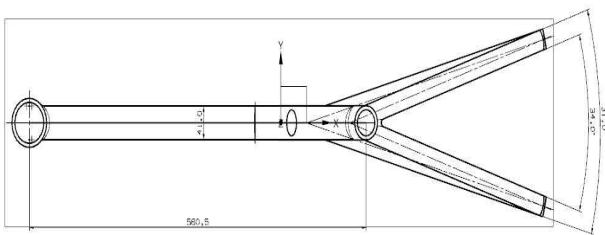


Fig. 3 2D front dimension of the bicycle frame.

2.2 모델의 재료특성

자전거 프레임을 만드는데 사용하는 재료에는 강철, 알루미늄, 크로몰리, 카본, 티타늄 등이 사용되지만 이 연구에서는 가장 흔히 사용하는 알루미늄합금 Aluminum alloys 6061-T6을 적용하였다.

Table 1 Material property of aluminum alloy

| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Young's Modulus (MPa) | 71000 |
| Poisson's Ratio | 0.33 |
| Density (g/cc) | 2.77×10^{-5} |
| Tensile Yield Strength (MPa) | 280 |
| Compressive Yield Strength (MPa) | 280 |
| Tensile Ultimate Strength (MPa) | 310 |
| Compressive Ultimate Strength (MPa) | 0 |

2.3 모델의 하중 및 경계구속조건

두 모델을 비교하는데 있어 보강효과 확인을 위해 프레임의 재료특성, 하중, 경계조건을 동일 시 하였다. Fig. 4와 같이 하중은 사람이 안장에 앉았다고 가정하여 시트 튜브 단면에 대해 수직 방향으로 -2000N의 힘하중을 작용시켰고 구속조건으로는 앞바퀴와 뒷바퀴가 각 프레임에 고정되어 있다고 보고 헤드 튜브(Head tube) 밑면과 체인/시트 스테이(Chain/Seat stay)의 접점에 fixed를 적용시켰다.

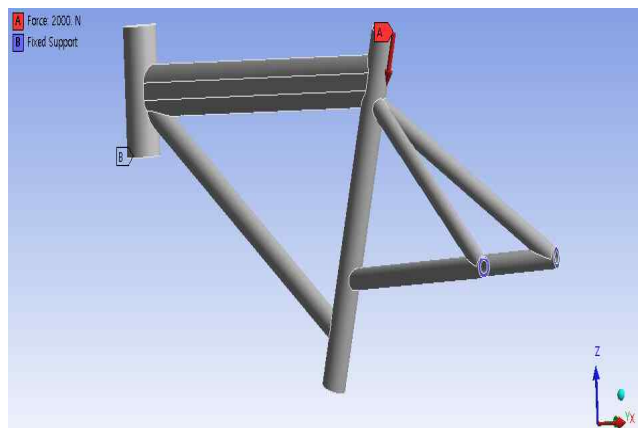


Fig. 4 Boundary and loading conditions.

2.4 정적구조해석결과

본 연구 모델들에 대한 정적인 구조해석을 하였다. 원래의 기본 프레임 구조 형태에서 발생하는 Max total deformation과 Max equivalent stress가 각각 Fig. 5과 Fig. 6 같이 14.2mm, 2.68 GPa 인 변

형량, 응력 분포를 나타내었다.

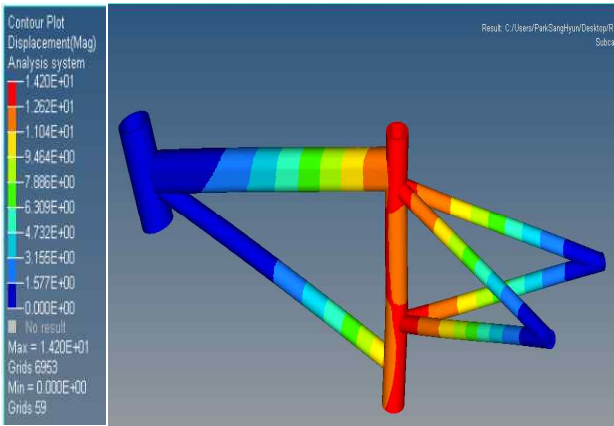


Fig. 5 Total deformation of original frame.

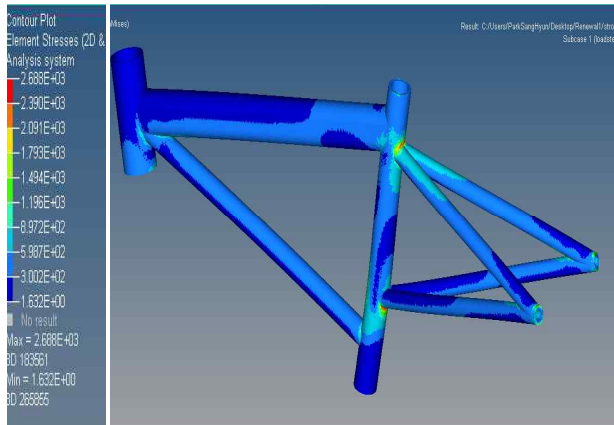


Fig. 6 Equivalent (Von-Mises) stress of original frame.

보강 효과를 알아보기 위해 기본 다이아몬드 프레임 구조에서 Down tube가 없는 프레임 형태에서 발생하는 Max total deformation과 Max equivalent stress가 각각 Fig. 7과 Fig. 8 같이 33.2mm , 4.19 GPa 인 변형량, 응력 분포를 나타내었다.

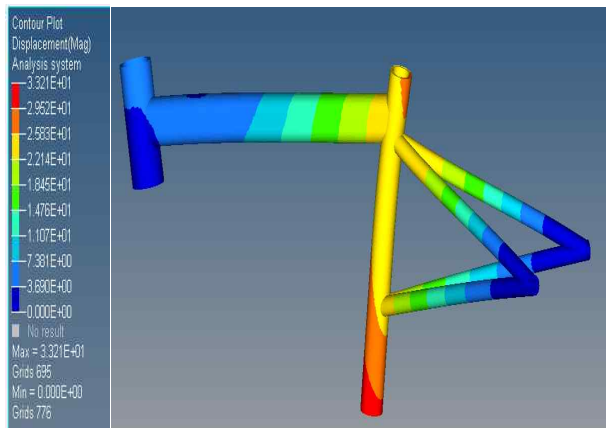


Fig. 7 Total deformation of frame without a down tube.

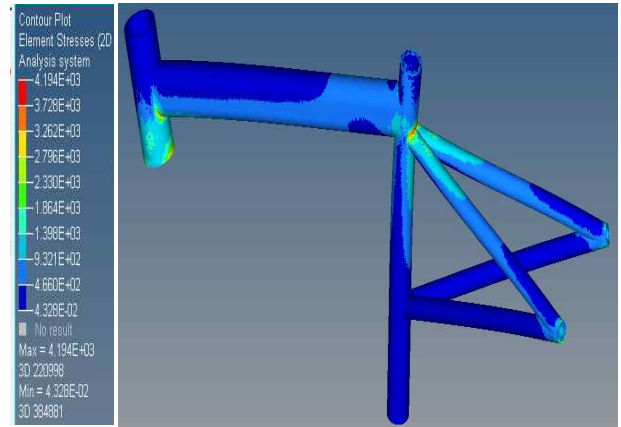


Fig. 8 Equivalent (Von-Mises) stress of frame without a down tube.

변형률, 응력 분포에 대한 집중도를 살펴보면 변형률에서는 힘 하중이 직접적으로 작용하는 Seat tube에서 많은 변형 결과를 나타내었고, 응력에서는 Seat tube와 Seat Stay 즉 두 다리 부분이 이어지는 연결부와 앞바퀴/뒷바퀴 고정부에서 많은 응력집중을 나타내었다.

위의 각 프레임에 대한 변형률과 응력의 결과를 해석할 때, 응력분포의 어느 특이 부분을 확대한 Fig. 9와 같이 등가응력의 최대치가 발생하는 이 지점은 시물레이션 후 발생한 매우 국소적인 부분으로써 연구하는데 큰 영향을 미치

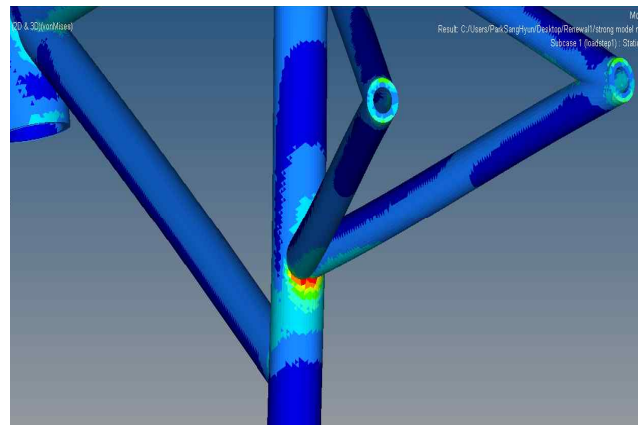


Fig. 9 unusual stress of small region.

않는다. Fig. 10 과 Fig. 11에서 볼 수 있듯이 기본 다이아몬드 프레임에서는 600 ~ 800MPa 이하의 응력분포를 가지는 부분과 보강이 되지 않은 프레임에서는 1000 ~ 1300MPa 이하의 응력분포를 가지는 부분을 선택적으

로 element를 모아 보았을 때 element 요소들이 프레임 대부분 형성하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 국소부위에서 발생한 응력부위는 연구에 별 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다.

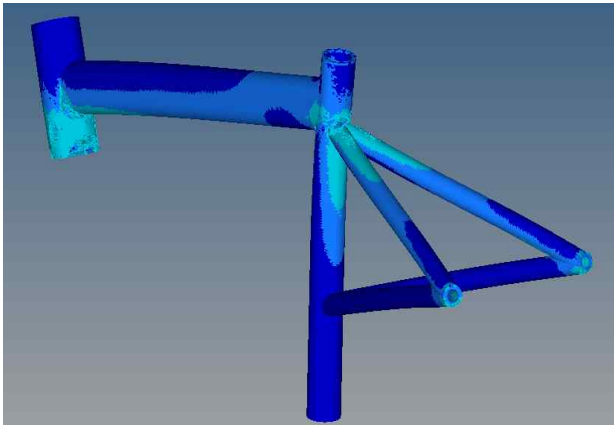


Fig. 10 stress element below 700MPa about original frame.

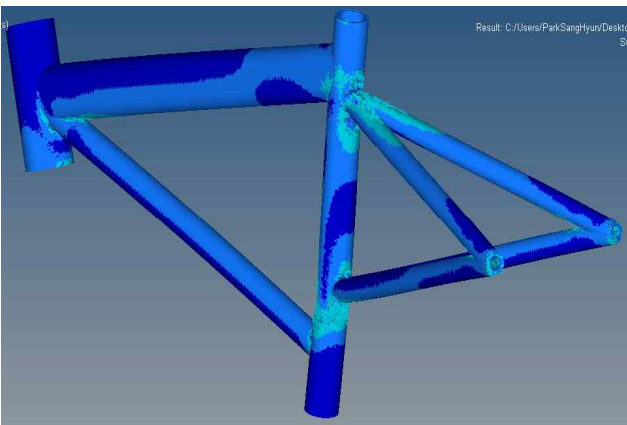


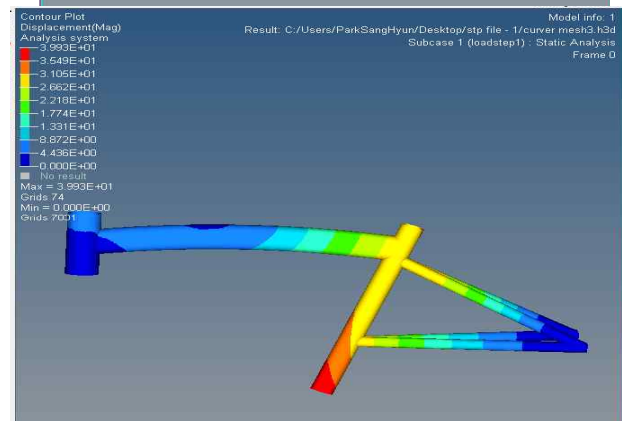
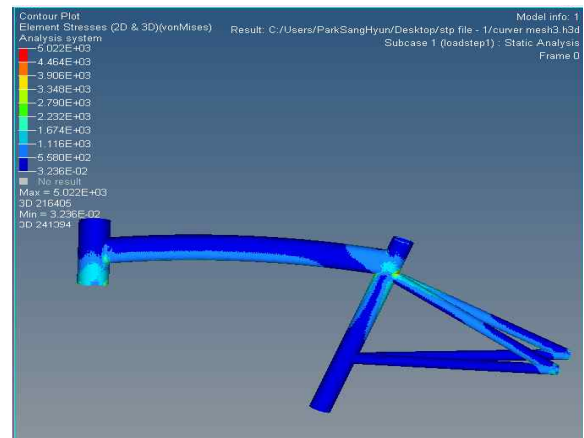
Fig. 11 stress element below 1100MPa about none down tube frame.

추가적인 연구로 기존의 다이아몬드 프레임에서 직선의 탑 튜브를 곡선으로 만들었을 경우의 응력, 변형률 분포를 살펴보았을 때 Fig.12 와 Fig.13 과 같이 결과가 나온다.

Fig. 12 Stress of curved top tube bicycle frame

Fig. 13 Displacement of curved top tube bicycle frame.

위의 결과로부터 기존의 직선 프레임보다 곡선 프레임이 더



높은 변형/ 응력 값이 나옴을 알 수 있고, 이는 차후 가공을 생각할 시 직선 프레임이 유리할 뿐만 아니라 하중에 대해서도 별 차이가 없기 때문에 곡선을 굳이 할 필요는 없다.

3. 결 론

○본 연구에서는 자전거 프레임을 2가지 형태의 3D-model 을 linear static structural analysis로 시뮬레이션 하였다.

1) 다이아몬드 기본 형태 프레임의 변형률이 Down tube 보강효과가 없어진 프레임의 변형률에서 57.1% 감소하였으며, 응력 같은 경우에는 36.4% 감소하는 효과를 보였다.

2) 응력 분포 분석 시 Top tube에는 응력 집중이 거의 일어나지 않으며, 앞/뒤 바퀴 고정부와 튜브 연결부위가 많은 응력집중이 일어나기 때문에 프레임 설계 시 Top tube의 두께를 얇게 만들고 다리 연결부에 보강한다면 안전도가 더 올라간다.

3) 변형률 분포 분석 시 안장이 없혀 저서 사람의 하중이 집중되는 Seat tube에서 가장 많은 변형이 생기므로 설계 시 Seat tube 보강에 고려해야 한다.

4) 현재 가해진 하중이 안장에만 집중적으로 2000N 가해졌으며, 두께가 5mm인 얇은 관으로 프레임을 형상화하였기 때문에 Aluminum alloys 6061-T6의 항복강도인 280MPa을 훨씬 넘어버리는 결과를 얻어내었다. 이로써 이 연구에서는 응력과 변형률의 분포 경향을 살피는 것으로 봐야 한다.

감사의 글

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No, 2014M3C1A6038344)

참 고 문 헌

James M. Gere , Barry Goodno (2011) *Mechanics of Materials*
.2 , pp.956~958

Altair Engineering Inc (2015) *Altair Optistruct Optimization practice problem* ,2 , pp 41~42