

도심형 신개념 자전거의 마그네슘 프레임 설계

김광희^{1*}

¹(재)인천테크노파크 기술혁신본부

Design on Magnesium Frame of Bike as New Paradigm for Urban style

Kwang-Hee Kim^{1*}

¹Division of Technical Innovation, Incheon Technopark

요 약 최근 친환경 이동수단으로 자전거 수요가 증가하고 있으나, 국내 생산기반은 전무한 실정이다. 본 연구에서는 경량 마그네슘 소재로 대중교통기관과 연계가능한 신개념 자전거로 제안된 모델에 대해 수평프레임과 수직프레임 설계 해석을 수행하였다. 연구결과, 구조용 마그네슘 합금을 사용하는 도심형 자전거의 주요 프레임에 대한 구조해석을 실시하여 150kg 수직하중시 최대응력이 70 MPa이하를 나타내는 설계기술을 확보하였다.

Abstract The demand of bike increases eco-friendly as the mean of transportation but domestic production basis becomes sluggish. In this study, the design analysis of horizontal and vertical frame is performed on the model which is proposed as the bike of new concept in conjunction with public transport system. As the result, the structural analysis is conducted on the main frame of urban bike used with cast magnesium alloy. As the vertical load of 150 kg is applied, the design technology insures that maximum stress less than 70 MPa is obtained.

Key Words : Cast Magnesium, Bike, Urban style, Body frame, Maximum stress

1. 서론

1.1 연구 배경

근래 고유가가 지속되고, 산업화와 공해 및 기후변화로 인하여 환경보존에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한, 주5일 근무 정착에 따라 여가활용과 건강을 병행하는 레저 인구의 증가와 함께 자전거에 대한 수요가 높아지고 있다. 자전거는 소재, 부품, 조립, 디자인, 마케팅 등이 망라된 전망위적인 산업이다. 국내 완성 자전거업체는 1990년 초 가격경쟁력을 이유로 생산기반이 해외로 이전하여 현재 국내 생산기반은 거의 없는 상태이다. 국내 자전거시장은 2009년 기준으로 자전거 보급률이 16.6%로 독일의 87%, 일본 68%에 비해 낮아서 성장기에 있다고 할 수 있으며, 잠재시장은 500만대로 1조2천억 시장이 될 것으로 전망하고 있다. 정부차원에서 자전거 교통수단

활성화 종합계획을 수립하여 비동력 무탄소 교통수단의 수송분담 증대와 교통부문 에너지 절감 및 이산화탄소 배출 감소를 목표로 다양한 정책을 주도하고 있다[1].

이와 같이 자전거를 대체교통수단으로 이용하기 위해서는 대중교통과 환승연계가 필수적인데 현재 1.2% 인 자전거의 교통분담율을 획기적으로 올릴 방안으로 국내 자전거산업 부흥과 다양한 종류의 자전거 개발이 필요하다[2].

현재 자전거 프레임의 재질은 강철이 일반적이고, 그 외 일부 알루미늄, 카본, 티타늄 등이 일부 적용되고 있다. 강철은 가격이 저렴하고 강도가 높으나, 무게가 무겁고 쉽게 녹이 발생하는 단점이 있다. 대부분 자전거 프레임이 용접에 의해 제작되므로 제작비가 많이 들고 용접 결함에 의한 사고가 지속적으로 발생하고 있다.

기존의 자전거 프레임 강도에 대한 연구는 많지 않았으며, 자전거에 국한되지 않고 마그네슘 합금에 대한 피

*Corresponding Author : Kwang-Hee Kim(Incheon Technopark)

Tel : +82-32-260-0814 e-mail: kkhkbs@itp.or.kr

Received January 4, 2013 Revised February 25, 2013 Accepted March 7, 2013

로균열의 실험적 연구와 기구 프레임의 안전성 확보를 위한 구조해석과 구조물 균열에 대한 건전성 평가의 연구 등이 수행되었다[3-6].

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 대중 교통과 연계가 가능한 도심형 자전거로 제안된 신개념 자전거의 구조적 안정성을 검증하고 개선안을 도출하여 실용화에 도움이 되도록 하였다. 특히 경량화를 위하여 주조용 마그네슘 합금을 적용하고 무용접 구조를 통해 중량 10 kg 이하를 실현하고자 하였다. 이를 위해 제안된 신개념 자전거의 주요 프레임에 대한 구조해석을 실시하고, 결과에 따라 설계보완과 개선을 통해 안전성이 높은 자전거의 개발을 위한 기반 기술을 확보하는데 목적을 두었다.

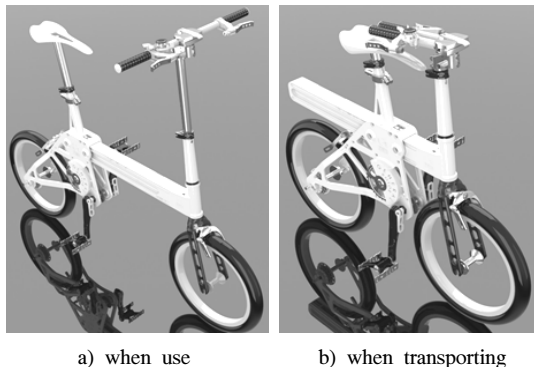
2. 구조 설계

2.1 프레임 구조

Fig. 1에는 도심형 자전거의 개략도가 나타나 있다. a)는 일상 사용시의 상태이고, b)는 이동이나 보관시의 모습이다. 자전거의 뒷바퀴가 장착된 수직프레임이 수평프레임을 중심으로 슬라이드 되어 펼쳐지거나, 축소되는 구조를 가지고 있다.

본 연구에는 프레임 소재로 주조용 마그네슘 (G-MgAl6Zn3)을 적용하였으며, 주요 물성치는 Table 1과 같다.

Fig. 2는 자전거의 주요 프레임을 나타내며, Fig. 3에는 이를 수직프레임, 수평프레임, 포크프레임, 시트프레임 등 4가지로 나눈 것을 나타낸다. 이 가운데 수직과 수평프레임은 자전거의 구조적 안전성을 좌우하는 중요한 부분이다.



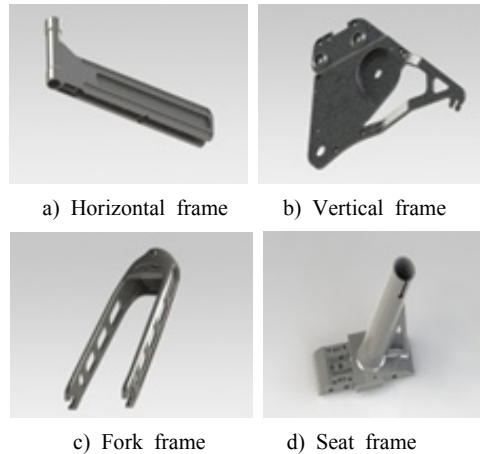
[Fig. 1] Urban Bike

[Table 1] Casting Magnesium properties

Quantity	Value
Tensile modulus	210 MPa
Elongation	5 %
Yield strength	100 MPa
Melting temp	455 °C
Density	1840 kg/m ³



[Fig. 2] Urban bike frame



[Fig. 3] The main frame and parts

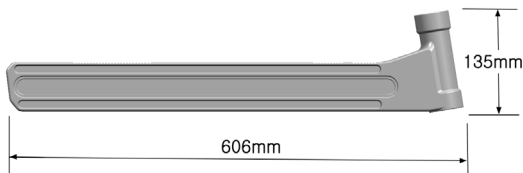
2.2 해석 방법

자전거프레임의 주요 부분인 수직과 수평프레임의 개별 구조의 안정성을 파악하기 위해 각각 분리된 상태에서 사용자가 자전거를 탄 것을 가정하여 각 부분에서의 응력상태를 파악하였다. 이를 위하여 구조 해석용 패키지인 ABAQUS 9.5를 사용하여 조건에 따른 최대응력 분포를 비교하였다[7].

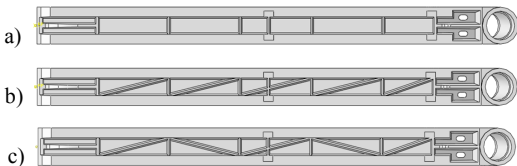
2.2.1 수평프레임

Fig. 4는 수평프레임 외형과 치수를 나타내는데, 이 자전거에는 14~16인치 크기의 바퀴가 장착된다. 수평프레임은 강도 향상을 위하여 Fig. 5 a), b), c)와 같이 프레임 내부의 리브 형상에 변화를 주어 각각을 비교하였다.

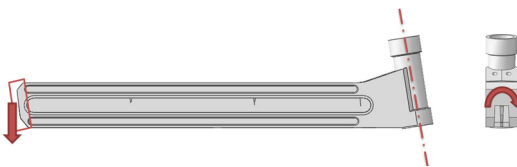
수평프레임의 경계조건은 Fig. 6과 같다. 그림의 오른쪽은 조향핸들축과 결합되어 앞바퀴에 조립되므로 고정시킨다. 왼쪽은 수직프레임과 슬라이드로 결합되고 뒷바퀴가 부착되므로 주행 중 비틀림이 예상된다. 따라서 오른쪽은 고정시키고 왼쪽에 150 Nm의 토크를 작용시켰다. 또한, 수평프레임 해석을 위하여 Fig. 7과 같이 5 mm의 사면체 격자를 생성하였다.



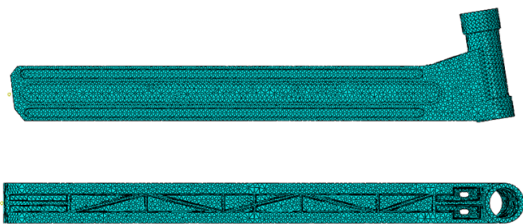
[Fig. 4] Appearance and dimensions of the horizontal frame



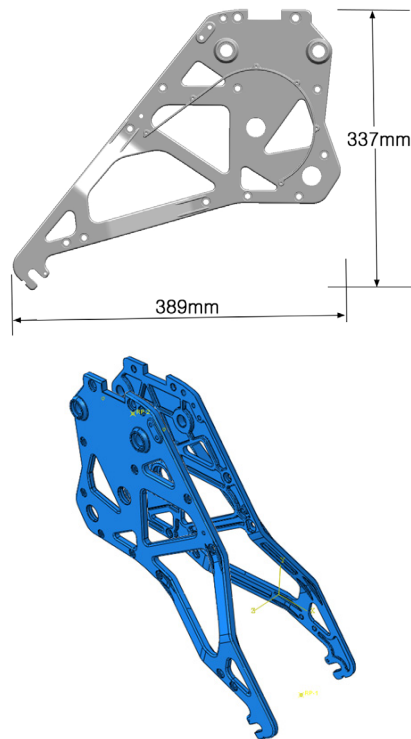
[Fig. 5] Shape the bottom of the design model for the horizontal frame



[Fig. 6] The design of the horizontal frame model



[Fig. 7] For the analysis of the horizontal frame mesh



[Fig. 8] Vertical frame shape and dimensions

2.2.2 수직프레임

Fig. 8은 수직프레임 외형과 주요 치수를 나타낸다. 좌우 대칭으로 이루어져 있으며, 상단은 수평프레임 슬라이드 부분과 결합된다.

수직프레임의 안전성 검증을 위해 Fig. 9와 같이 원편 끝단에 바퀴가 설치되어 고정되고 슬라이드부분에서 수직하중이 작용할 경우 최대 응력을 살펴보았다. 하중은 수직방향으로 각각 75 kg과 150 kg이 가해질 경우를 비교하였다.

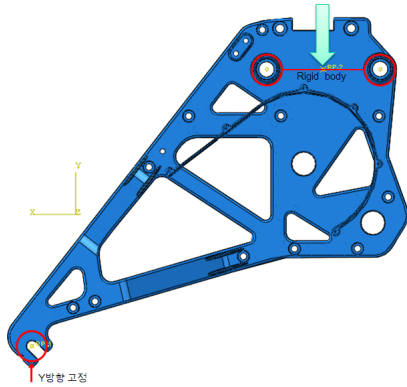
3. 결과 고찰

3.1 수평프레임

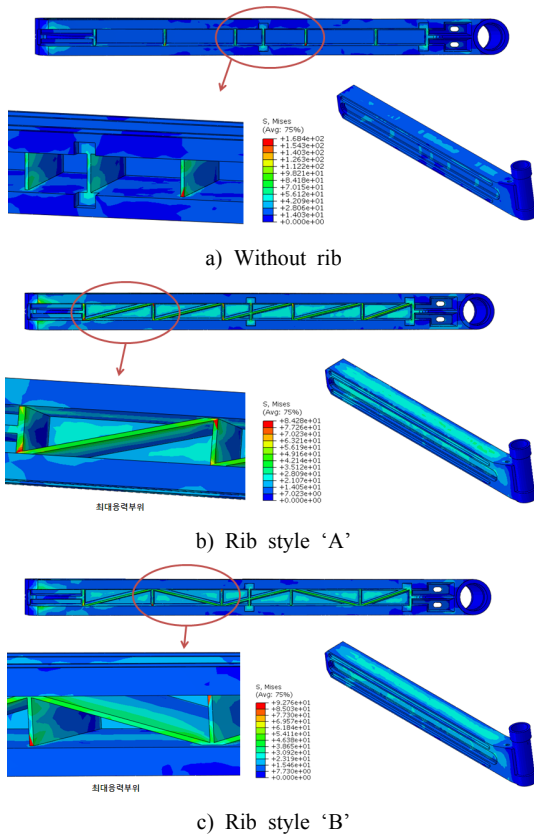
리브형상이 다른 3가지의 수평프레임 해석결과를 Fig. 10에 나타내었다. 최대응력부분은 리브연결부에 나타나며, 각 모델의 최대응력을 보면 a)의 경우 168.4 MPa, b)의 경우 84.3 MPa, c)의 경우 92.8 MPa로 나타나서 최대응력이 가장 낮은 b)의 리브 설계가 적절한 것으로 판단된다.

3.2 수직프레임

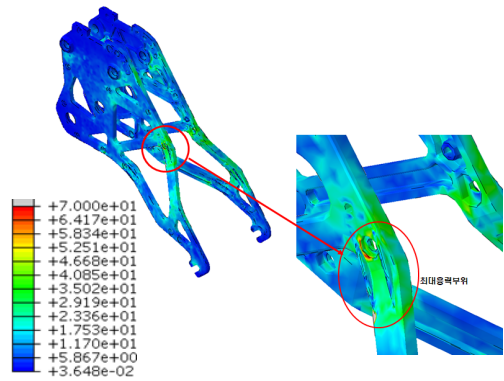
일반적인 자전거는 승차하중이 100 kg이며, 산악자전거는 120 kg을 기준으로 제작되는데, 본 연구의 자전거는 도심형이지만, 극한의 경우를 고려하여 150 kg까지 수직하중을 적용하였다.



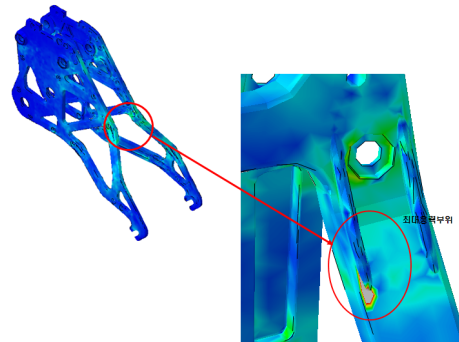
[Fig. 9] The conditions for analysis of the vertical frame



[Fig. 10] The results for analysis of the horizontal frame



a) vertical load 75kg



b) vertical load 150kg

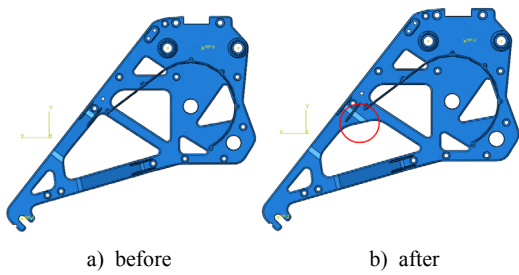
[Fig. 11] The results for analysis of the vertical frame

Fig. 11에는 수평프레임에 각각 75 kg과 150 kg의 수직하중을 가했을 때, 응력 분포를 나타낸다. Fig. 11의 a)는 하중이 75kg 가해졌을 때는 프레임 중간부분에 최대 응력 33 MPa를 나타내었는데, 본 연구에 적용된 주조용 마그네슘 합금의 항복강도가 100 MPa인 것을 감안하면 양호한 것으로 판단된다. 이에 반해 수직하중이 2배인 150 kg이 가해진 b)에서는 동일한 부분에 150 MPa이상의 최대응력이 가해져 소성변형이 예상되므로 설계보완이 필요하였다.

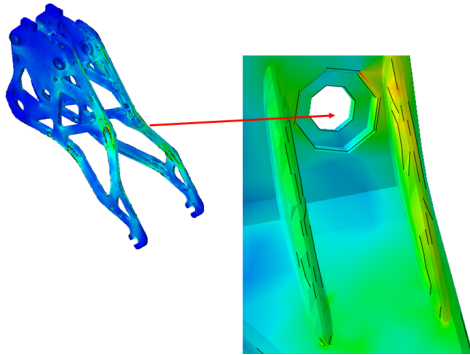
3.3 설계 보완

위와 같은 수직프레임의 구조해석 결과에 따라 구조상 취약한 부분에 대해 Fig. 12와 같이 설계를 변경하고 최대응력을 살펴보았다. Fig. 13과 같이 설계 수정 후에는 150 kg의 수직하중이 가해져도 최대응력이 70 MPa 정도로 작용하여 수정 전보다 개선된 것으로 나타났다.

Fig. 14는 구조해석 결과를 반영하여 최종적으로 설계 수정 된 모델의 레이저조형 모습을 나타낸다. 프레임 외부품의 결합성 및 기본적인 기능을 확인하는 데 활용할 수 있다.



[Fig. 12] The comparison of modifying the design about the vertical frame



[Fig. 13] The results for analysis after changing the vertical frame design



[Fig. 14] Horizontal and vertical frame mock-up of modified model

4. 결론

본 연구에서는 마그네슘을 소재로 대중교통기관과 연계가능한 신개념 도심형 자전거의 수평프레임과 수직프레임 설계 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수평프레임을 중심으로 슬라이드 축소되는 14~16 인치용 무용접 자전거프레임을 개발하였다.

- 2) 주조용 마그네슘 합금을 사용하는 도심형 자전거의 주요 프레임에 대한 구조해석을 실시하여 150 kg 수직하중 작용시 최대응력이 70 MPa이하를 나타내었다.
- 3) 수평프레임과 수직프레임 해석을 통해 경량 도심형 자전거의 프레임 설계기술을 확보하였다.

References

- [1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, “Press Release: The plan of without power, carbon free transportation vitalization”, MLTM, 2011.
- [2] Analysis & Evaluation Team, “Industry Report: Bike Industry”, NICE Information Service Co. LTD, 2011.
- [3] Seon Soon CHOI, “Estimation of Empirical Fatigue Crack Propagation Model of AZ31 Magnesium Alloys under Different Maximum Loads”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 2, pp. 522-528, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.2.522>
- [4] Jong-Sun Lee, Sei-Hwan Kim, “Structural Analysis of Ruining Machine Frame”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 2, No. 1, pp. 31-35, 2001.
- [5] Jong-Sun Lee, “Design and Structural Analysis of Electric Saver Box”, Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 6, pp. 2435-2440, 2012.
- [6] Joon-Seong Lee, “Integrity Evaluation for 3D Cracked Structures(I)”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 8, pp. 3295-3300, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.8.3295>
- [7] SIMULIA, “Abaqus 6.9 User’s manual”, Dassault Systemes, 2009.

김 광 희(Kwang-Hee Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계공학과 (공학박사)
- 2005년 1월 ~ 현재 : (재)인천테크노파크 기술혁신본부 본부장

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, 정밀가공, 최적설계