

Al6061소재를 이용한 국산화 자전거 프레임 개발

Development of Localization Bicycle Frame using Al 6061

*#배원락¹, 신동우¹, 심보경¹, 김병년², 윤신일³, 권영각¹

*#W. R. Bae(wrbae@ghi.re.kr)¹, D. W. Shin¹, B. K. Shim¹, B. N. Kim², S. I. Shin³, Y. K. Kwon¹

¹(재)경북하이브리드부품연구원, ²(주)화신 기술연구소, ³(주)에나인더스트리 기술연구소

Key words : Al6061, Bicycle Frame

1. 서론

자전거 프레임은 힘 전달성, 직진성, 코너링, 가속성 등의 자전거 성능을 결정하는 핵심부품으로 직접적인 영향을 미친다. 그러나 국내 제조현황은 생산기반이 이미 무너지고 거의 없다고 보는 것이 맞을 것이다.

국내외 프레임을 시험 평가한 연구결과에 의하면 도로용 프레임의 경우 국내 제품의 Bottom Bracket의 강성 계수가 해외제품과 비교하여 약 8% 가량 높은 값을 보이고 있는 반면, 비틀림 강성의 경우 국내 제품이 해외 제품과 비교하여 약 29% 정도 낮은 값을 보이고 있다. 내구성인 경우 유럽 기준을 통과한 제품은 몇 개의 제품뿐일 정도로 국내 디자인 제품의 경우 비틀림 강성과 내구성 보완이 필요하다고 판단된다.

자전거 프레임이 주행 상태에서 받게 되는 하중은 반복 하중으로 모든 기계와 구조물의 부품들은 반복 하중을 끊임없이 받게 되며, 이는 부재에 미세한 물리적 손상을 유발시킨다. 어떤 부재가 항복강도 이하의 응력상태에서도 반복 하중을 받게되면 부품은 미세한 균열이나 손상이 발생하게 되어 누적된다. 이와 같이 반복적인하중에 의하여 파손이나 손상되는 과정을 피로라고 하며, 피로로 인한 기계적 파손은 지난 150년 이상 동안 이어진 공학적 과제이다.

프레임 파손의 대부분이 반복하중 또는 피로에 관련되므로, 피로파손은 프레임 설계에 있어서 매우 중대한 문제가 된다. 프레임의 피로파손은 승차자의 안전을 심각하게 위협하는 동시에 제조사의 브랜드 이미지와 제품 신뢰성에 치명적인 영향을 미치므로 피로 파손의 발생이나 이를 막기 방지하기 위한 비용은 점차 증가되고 있다. 따라서 최근 경쟁적으로 프레임 경량화를 추구하고 있는 제조사들은 반복 하중을 받고 있는 자전거 프레임에 대한 피로 관점의 설계가 매우 중요한 문제로 다가온다.

내구성과 강성의 향상을 위하여 프레임에 관한 해석 또한 상당히 중요한 부분을 차지하고 있으며, 본 연구에서는 Hybrid 프레임(시티바이크)에 관한 구조 해석을 통하여 안전한 자전거 프레임을 설계 하고자 한다. 제품의 설계단계에서 프레임의 구조 해석을 이용하면, 설계 변수를 보다 많이 고려할 수 있으며,

시제품 시험과 평가의 횟수 및 비용을 절감할 수 있을 뿐 아니라 제품 설계 기간을 단축하며, 제품의 형상과 중량 등을 최적화할 수 있다.

본 연구는 하이브리드 프레임의 구조해석을 통하여 프레임 설계기술을 확보하고 개선하는데 그 목적이 있다. 프레임의 내하중 낙하 충격성, 내진성, 내전도 충격시험을 해석하고 그 결과를 통하여 사용자의 안전을 보장할 수 있도록 프레임을 설계 및 제작 하고자 한다.

아울러 자전거 프레임 및 조립체 3차원 모델링을 통하여 digital manufacturing을 지원하는 DMU(digital mock-up)을 구축하고, 인체 모델의 구동 시뮬레이션을 통해 구동해석을 수행함으로써 설계 및 제작의 완결을 꾀하고자 한다.

2. 자전거 프레임 해석

Fig. 1은 설계와 해석의 일반적인 과정을 보이고 있다. 모델링 되어진 개념 설계를 바탕으로 다음의 절차에 따라 해석을 수행한다.

- ① Math modeling
- ② 설계 기준에 따른 외부 하중(External Load) 산출
- ③ 하중을 Math model에 부가하여 Stress와 Deformation 계산
- ④ 결과로부터 안전 여부 및 규격 요구 조건 만족 여부 판단
- ⑤ 필요시 설계 개선

위의 과정을 수차례 반복함으로써 설계자의 의도를 만족시키며 안전성이 확보된 자전거 프레임을 설계하고자 한다.

하중의 산출은 설계 기준에 더하여 일반적으로 자전거 구조에 가해질 하중을 예측하는 것이 필요하다. 일반적 하중의 근거로는 역학적 고려를 통한 하중 해석과 아울러, 시험 규격에 정해진 하중을 사용하는 것이 합리적이다.

관련된 주요 규격은 아래와 같다.

- KS R 1092 일반용 자전거의 안전성
- KS R 8004 자전거의 제동 시험 방법
- KS R 8006 자전거 조정 안정성 시험 방법
- ASTM F 2273 Standard Test Methods for Bicycle Fork
- ASTM F 2711 Standard Test Methods for Bicycle Frames

상기의 규격을 요약하여 물리적인 내용으로 표현하면 아래와 같다.

- 후륜 허브를 고정 후 전륜 허브에 가해지는 수평 하중
- 전륜이 장애물에 부딪히거나, 점프 착지 조건에 해당
- 브레이크 작동에 따른 하중
- 시트 튜브를 통해 전달되는 승차자의 체중에 따른 수직하중

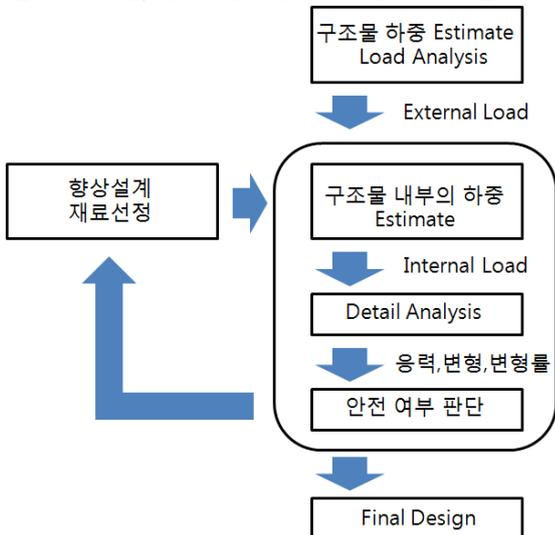


Fig. 1 Process of Structure design and analysis

Table 1 Mechanical properties of Al6061

| Yield Strength | 280 MPa |
|-----------------|-------------------|
| Young's Modulus | 69 GPa |
| Poisson ratio | Poisson 0.33 |
| Density | 2.70.E-09 ton/mm3 |

해석은 상용 소프트웨어인 ABAQUS를 사용하여 수행하였다. Frame 모델링에 필요한 주요 구조물은 그림2의 프레임으로 Top 튜브, 다운 튜브, Seat 튜브, Seat Stay 튜브, 체인 Stay 튜브 등이 있다. 이들은 일반적으로 모두 금속제 튜브로 구성되므로



Fig. 2 Al6061 Bicycle Proto Sample



Fig. 3 Half Math Model for the structure analysis

Beam-in-Space 요소를 사용하여 모델링이 가능하다. 튜브의 단면 형상의 변화를 모델에 반영하기 위한 section property, 즉 단면적, 관성 모멘트, 단면 도심의 계산이 필요하다.

Beam 모델링을 통해 내력(Internal Load)를 계산하고 이 결과를 이용하여 필요한 몇 가지 부품의 3차원 Solid 모델링 및 해석을 수행한다. 3차원 모델링이 필요한 부위는 주로 튜브의 용접부혹은 체결용 부품이다. 현재까지는 Frame의 모든 부분을 Shell 요소로 모델링하였으며, 제작 공법에 따른 국부적 튜브의 두께 변화에도 불구하고, 만족스러운 해석 결과를 보이고 있다.

1) 내하중 낙하 충격성 시험

차체의 하중낙하 충격시험은 1kg 이하의 경량 물리를 앞 포크에 부착하고 차체를 연직으로 유지하여 고정대에 뒤차축으로 고정하고 22.5kg의 추를 180mm의 높이에서 앞 차축부의 경량 물리와 충돌하도록 낙하시켜 시험 전후의 차축간 거리를 측정하여 영구 변형량을 구하는 시험으로서, 차축간 거리의 영구변형량이 40mm이하이고 또한 그 밖의 파손이 생겨서는 안된다.

2) 내진성 시험

차체를 연직방향의 상하 진동을 주었을 때 차체의 각 부에 파손, 변형을 보는 시험으로서, 각부에 파손, 현저한 변형 또는 굽음이 생겨서는 안된다.

3) 내전도 충격시험

앞 포크를 앞 뒤 차축이 수평이 되도록 한 다음 70kg의 추를 무게중심이 시트 파이프 위 끝에서 시트 파이프 중심선의 연장선 상 75mm인 위치에 있는 상태로 고정하고 이 상태에서 앞 포크의

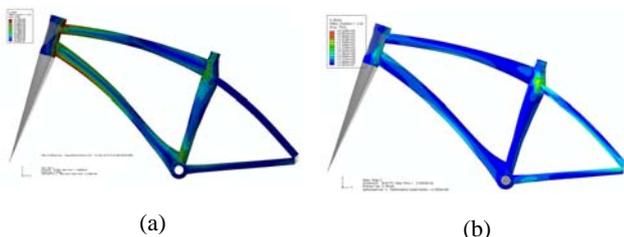


Fig. 4 (a) Von Mises stress at Max. compress point
(b) Von Mises Stress at Max. acceleration

앞 끝을 300mm까지 일으켜서 바닥에 2회 반복하여 낙하시키는 시험이며, 차축단거리의 변형량이 60mm이하이고 각 부위에 손상이 없어야 한다.

해석결과 0.1초 경과 후 소성 변형율은 Head Tube 부근에서 최대12%이다. 최대 압축 변위는 25mm(at 0.02sec) 이내였고, 초기 충격 이후 그 변형의 크기는 계속 감소한다.

무게 추의 중력이 가해진 상태에서 "충격에 따른 영구 변형량이 40mm이하"인 규격을 만족하는 것으로 판단된다.

최대 응력은 25MPa이하로 항복강도의 약 10% 수준이다. 역시 피로 시험을 필요로 하나, 응력의 수준을 감안할 때, 규격을 만족할 것으로 판단된다.

프레임이 만족하여야 하는 구조적 성능을 확인하기 위한 형상 모델링과 구조 해석을 수행한 결과, 내하중 낙하 충격성, 내진성, 내전도 충격성 시험에서 요구하는 기준을 모두 만족할 것으로 판단된다.

3. Human modeling 및 구동해석

3차원 프레임 모델 및 표준 부품의 모델링을 통해 자전거 DMU(Digital Mock-Up)을 구축하였으며, CATIA V5R18 시스템의 Human modeling 기능을 이용하여 신장 170cm 표준체형의 인체 마네킹을 모델링 한 후, 구속조건을 주어 자전거에 앉히도록 하였다. 페달링 Simulation을 통해 신발과 프레임 간의 간섭 여부를 검사하여 디자인 확정하였다.



Fig. 5 (a) Standard Body Dimension (<http://sizekorea.kats.go.kr>)
(b) Manikin modeling (CATIA V5)

4. 결론

상기의 FEM 해석과 Human modeling 및 구동해석의 결과를 가지고 Al6061을 사용한 국산자전거 모델을 검증하였으며 일련의 프로세스를 검증하였다.

- 1) 국산화 자전거 프레임 제작을 위하여 국내 규격에 맞는 하중 산출과 FEM 모델 구성 및 프로세스 정립
 - 2) 해석결과에 따른 설계 검증 (내구성 확보)
 - 3) Human modeling을 이용한 사용자 및 부품 간섭 확인
- 향후에는 EN 규격을 대상으로 하는 하중 산출과 경량화를 목표로 최적 설계를 진행하고 생산기술 관련하여 발표예정이다.

후기

본 연구는 지역산업기반구축사업 “미래형 자전거 산업지원 인프라 구축사업”의 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김기범, 정우석, 강형섭, 김진상, 김성중, 김민호, 홍철운, “헬스케어용 실내 자전거의 페달 길이의 변화에 따른 운동특성” 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 861-862, 2008.
2. 이범성, “자전거 프레임용 CFRP 파이프 설계제작”, 한국정밀공학회지, 20, 130-137, 2003.