

유한요소법을 이용한 티타늄 스프라켓의 안전성 해석에 관한 연구

송병욱*, 조지현*, 서금희*, 서태일*, 배종석**, 박진성**

*인천대학교 기계시스템공학부 기계로봇전공

**유신정밀공업(주) 기술연구소

e-mail:tiseo@incheon.ac.kr

A Study Of the Safety Analysis of Titanium Sprockets by Using Finite Element Method

Byeong-Uk Song*, Ji-Hyun Cho*, Keum-Hee Seo*, Tae-Il Seo*, Jong-Suk Bae**, Jin-Sung Park**

*Div. of Mechanical System Eng., Major of Mechanical Eng. and Robotics, University of Incheon, Korea

**R&D Center, Yushin Precision Industrial, Korea

요 약

본 논문에서는 자전거의 구동 및 변속 장치인 스프라켓에 관한 연구이다. FEM을 이용하여 티타늄 소재 스프라켓의 구조해석을 수행하기 위해 10단 Cassette를 설계하였고, 사용자가 가장 많이 사용하는 단수인 4, 5, 6단을 티타늄 소재로 선정하였다. 티타늄 재료의 물성치를 실험을 통해 확보하였으며, 이를 이용하여 티타늄 스프라켓의 각 치형에 걸리는 Equivalent Stress를 구하였고 스프라켓 고정장치인 스파이더와의 체결 후의 Equivalent Stress를 구하여 티타늄 스프라켓의 안정성을 확보한다.

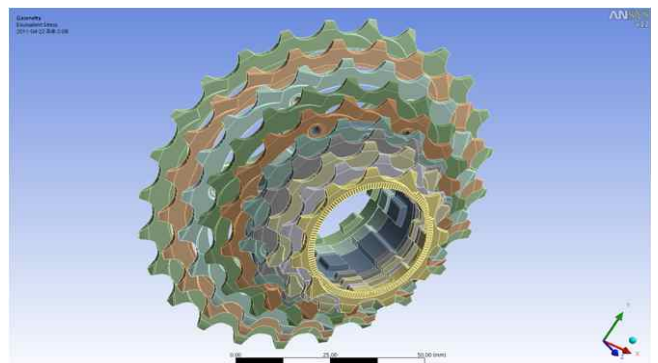
1. 서론

화석 연료 기반의 운송수단은 인류에게 많은 편의를 가져왔지만 이와 함께 대기오염, 자원의 확보를 위한 사회적 갈등을 야기해왔다[1]. 이로 인해 근래에 자전거는 건강과 환경을 위한 운동이나 여가용으로 국가적 차원에서 장려되고 있다. 또한 유가 상승과 심각한 주차난은 자동차 이용자가 자전거의 이용에 눈을 돌리는 계기가 되고 있으며, 자전거 이용을 배려하기 위해 대중교통 시스템에도 자전거 거치시설을 탑재하는 등 향후 교통수단으로서 자전거의 역할이 커질 것으로 기대되어지고 있다[2-3]. 이에 따라 소비자 요구가 다양해지고 있으며 세계 자전거 선진국들은 여러 용도를 고려한 다양한 설계안과 고급화된 재질을 사용한 자전거 개발에 박차를 가하고 있다[4-5].

본 연구는 경량 소재를 이용한 10단 일체형 Cassette 개발을 위한 FEM 해석으로 동력을 전달하고 원활한 변속을 하기 위한 핵심 부품인 스프라켓의 구조해석에 관한 연구이다. 10단 스프라켓의 경우 기존의 9단 스프라켓에 비해 피치 및 두께가

감소한다.

본 연구를 위해 설계한 10단 Cassette는 사용자가 가장 많이 사용하는 단수인 4, 5, 6단을 티타늄 소재로 선정하였고 내구성을 구조해석을 통해 미리 예측하고 안정성 확보에 기여하는데 그 목적이 있다.



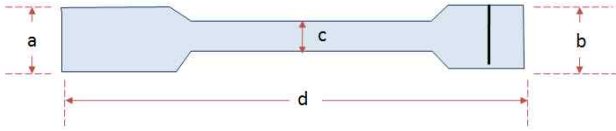
[그림 1] 10단 일체형 Cassette 모델링

2. 재료의 물성치

2.1 티타늄재료의 물성치

10단 일체형 Cassette의 4, 5, 6단 스프라켓을 구성

하고 있는 티타늄재료는 열에 의해 공기와 반응성이 매우 큰 소재로 워터젯을 이용한 시편 가공 후 사상 작업을 이용하여 제작하였다. 또한 시편을 롤링한 방향과 수직인 방향으로 인장 실험을 진행하여 물성치 데이터를 얻었다.



[그림 2] 인장시편 제작(이방성 고려)

[표 1] 인장시편 Spec

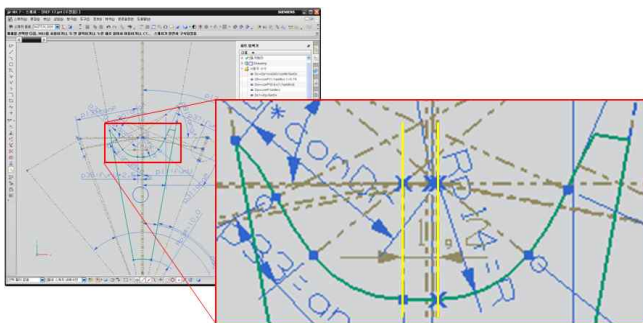
	a	b	c	d
시편 I	25	25.2	12.25	193.9
시편 II	25	25.15	12.2	194
시편 III	25	25.15	12.2	193.9
시편 IV	25	25	12.2	194

[표 2] 인장시험 결과

	I	II	III	IV
Disp Peak [mm]	1.447	1.439	1.450	1.374
Load Peak [kN]	11.16	11.09	11.11	11.08
Brk. Disp [mm]	11.34	10.77	11.29	10.37
Brk. Load [kN]	7.738	8.010	8.077	7.811
2% Yd Str [MPa]	750.9	752.4	750.3	745.9
Modulus [MPa]	39680	39890	39280	40590
Energy Brk [J]	115.0	108.7	114.1	104.3

3. 스프라켓 모델링

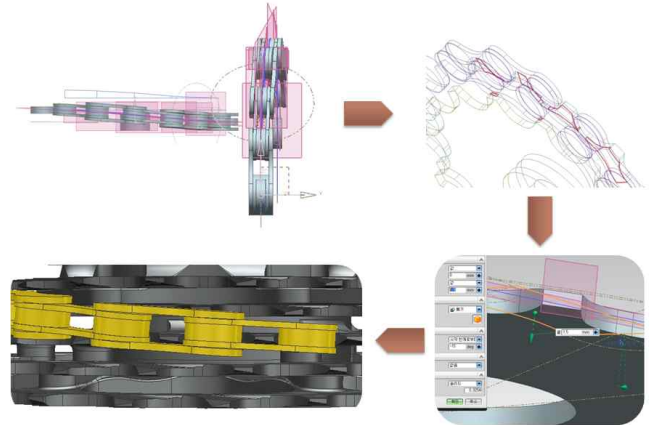
자전거의 동력전달 효율 및 원활한 변속을 고려하여 스프라켓 치형 형상을 설계 하였고 자전거의 특성을 고려하여 주요 파라미터를 최적화하였다.



[그림 3] 스프라켓 프로파일의 설계

체인의 변속은 드레일러에 의한 강제 위상 변화로 변속이 원활하게 이루어지려면 체인이 스프라켓을

타고 지나갈 수 있는 경로를 생성하여 주는 것이 매우 중요하며 Cassette에서 원활한 변속을 위해 체인의 경로를 모델링하고 이를 스프라켓 측면 형상 설계에 적용함으로써 최적 형상을 설계하였다.

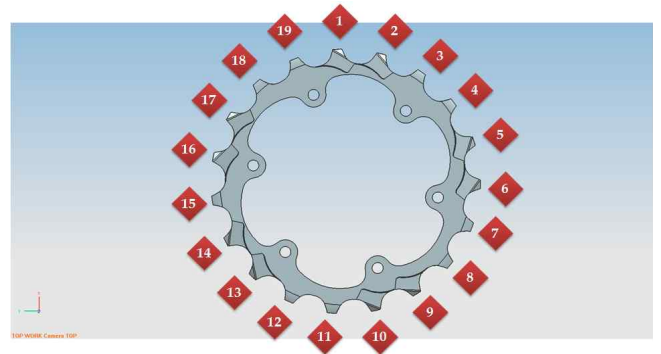


[그림 4] 체인의 변속모델 구현 및 스프라켓 측면 형상 설계

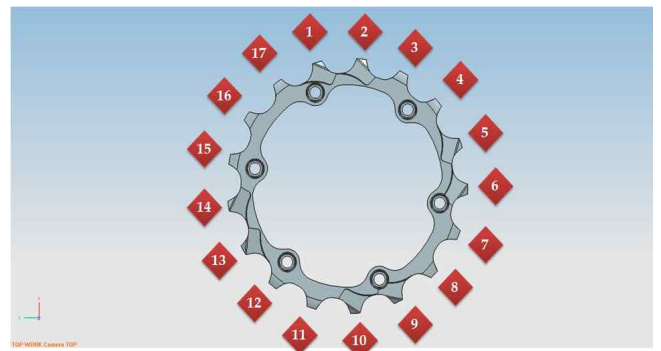
4. FEM 해석 및 방법

4.1 4, 5, 6단 스프라켓 해석

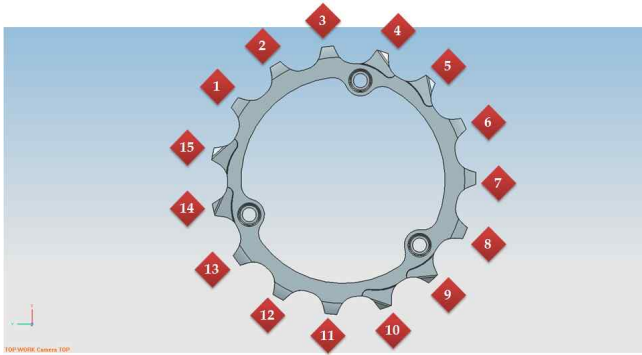
설계된 스프라켓의 강성 검증을 위해 ANSYS를 이용하여 4, 5, 6단 스프라켓 각각의 치형에 구조해석을 수행하였다.



[그림 5] 4단 스프라켓 모델

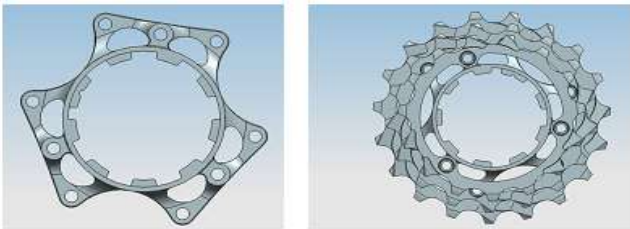


[그림 6] 5단 스프라켓 모델



[그림 7] 6단 스프라켓 모델

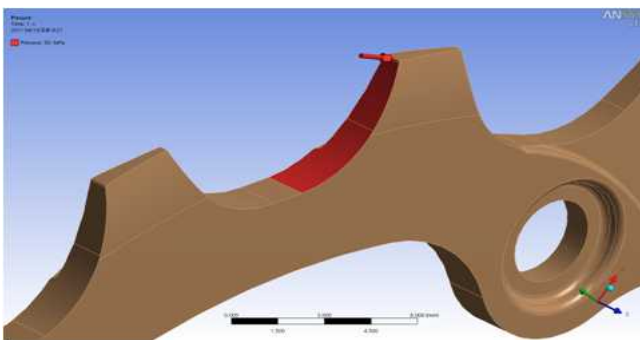
또한 4, 5, 6단의 스프라켓의 체결을 위한 스파이더를 모델링하여 Assembly된 상태에서 구조해석을 수행하였다.



[그림 8] 스파이더 및 스파이더와 4, 5, 6단 스프라켓 체결 모델

4.2 해석 방법

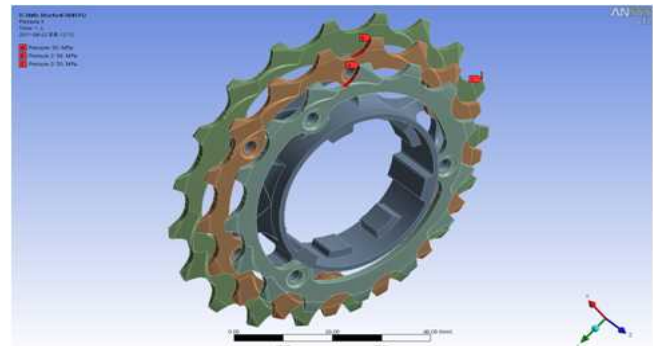
각 스프라켓의 Mesh 최대 크기는 1mm이고 치형에서 체인이 접촉하는 면에 수직인 법선 벡터로 분포 하중 50MPa를 주었고 Riveting 부위 안쪽을 Fixed Support로 지정하였다.



[그림 9] 스프라켓의 하중 조건

또한 스파이더 Mesh의 최대 크기를 1mm, 고정부위 안쪽 모든 면은 Fixed Support로 지정하였으며 스파이더를 4, 5단 스프라켓이 6개소로 체결하였을 경우와 6단 스프라켓이 3개소로 체결하였을 경우의 구조해석을 수행하였으며, 각각의 스프라켓 및 스파이더에 관한 구조해석 및 스파이더에 4, 5, 6단 스프라켓 체결 후 각 스프라켓의 최대 응력이 발생했던

치형에 50MPa의 힘을 가하였다.



[그림 10] 스파이더와 4, 5, 6단 스프라켓 체결 후 하중 조건

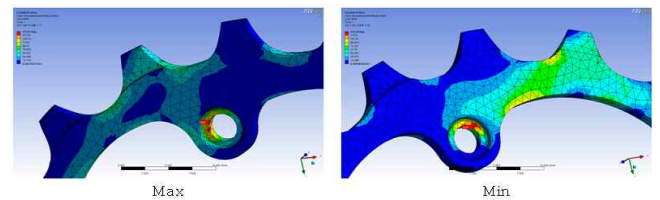
5. 해석 결과

5.1 각 단의 스프라켓의 응력 분포

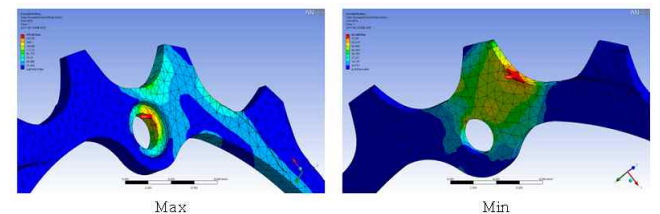
4단 스프라켓의 경우 Equivalent Stress의 최대치와 최소치는 각각 7번 치형에서 177.61MPa, 5번 치형에서 130.39MPa이 나왔으며 아래 그림 11와 같은 형상을 보였다. 5단 스프라켓의 경우 Equivalent Stress의 최대치와 최소치는 각각 4번 치형에서 210.99MPa, 9번 치형에서 81.664MPa이 나왔으며 아래 그림 12와 같은 형상을 보였다.

마지막으로 6단 스프라켓의 경우 Equivalent Stress의 최대치와 최소치는 각각 1번 치형에서 355.65MPa, 4번 치형에서 200.89MPa이 나왔으며 아래 그림 13와 같은 형상을 보였다.

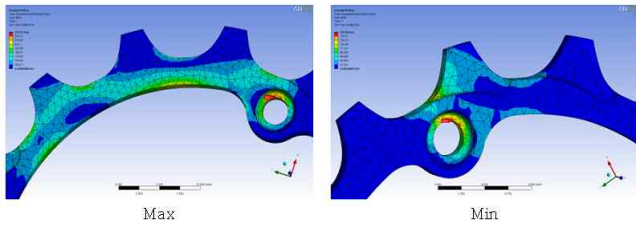
스프로켓 소재인 티타늄의 Tensile Strength는 1006MPa로 4, 5, 6단 스프라켓의 Equivalent Stress의 최대치 값들과 약 5배이상 차이나는 것으로 보여 안전율 5이상의 하중강도를 가짐을 알 수 있었다.



[그림 11] 4단 스프라켓의 상당응력 Maximum 및 Minimum 결과



[그림 12] 5단 스프라켓의 상당응력 Maximum 및 Minimum 결과

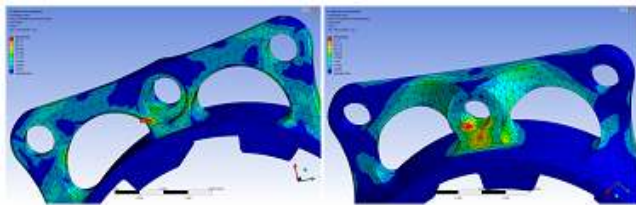


[그림 13] 6단 스프라켓의 상당응력 Maximum 및 Minimum 결과

5.2 스파이더의 응력 분포

스파이더의 재질의 경우 Aluminum으로 4, 5단 스프라켓을 체결된 스파이더의 6개소에 힘을 가하였을 경우 Equivalent Stress는 490.24MPa이었다.

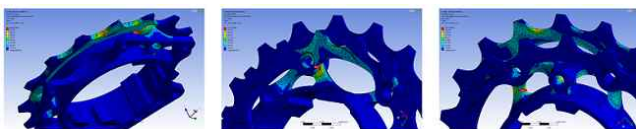
6단 스프라켓을 체결한 스파이더의 3개소에 힘을 가하였을 경우 Equivalent Stress는 350.66MPa로 나왔으며 그림 14와 같은 형상이 나타났다.



[그림 14] 6개소와 3개소 스파이더의 해석 결과

5.3 스파이더 및 스프라켓 체결 후 응력 분포

4, 5, 6단 스프라켓과 스파이더의 체결 후 Total Deformation은 각각 0.0365mm, 0.264mm, 0.0445mm로 나타났다. 또한 그림 15에서 보는바와 같이 4단 스프라켓의 최대 응력 지점인 7번 치형에 50MPa를 가했을 경우 173.23MPa, 5단 스프라켓의 최대 응력 지점인 4번 치형에서는 217.97MPa, 6단 최대 응력 지점인 1번 치형에서는 243.91MPa의 Equivalent Stress가 나왔으며, 스파이더의 재질인 Aluminum의 Tensile Strength의 503MPa과 비교 했을 때 절반수준에도 미치지 않으므로 안전율 2이상의 하중강도를 가짐을 알 수 있었다.



[그림 15] 4, 5, 6단 스프라켓의 해석 결과

[표 3] 스프라켓의 Equivalent Stress 해석 결과

	체결 전	체결 후
4단 Equivalent Stress [MPa]	177.61	173.23
5단 Equivalent Stress [MPa]	210.99	217.97
6단 Equivalent Stress [MPa]	355.65	243.91
Aluminum Tensile Strength [MPa]	503	

6. 결 론

본 연구에서는 FEM을 이용하여 자전거용 10단 Cassette의 스프라켓 중 사용자가 가장 많이 사용하는 4, 5, 6단 스프라켓의 소재를 티타늄으로 선정하고 각각의 스프라켓 마다 치형의 형상이 각기 상이함에 따라 각 치형별 다양한 경계조건을 이용하여 구조해석을 진행하였다.

해석에 사용되는 물성치는 실험을 통하여 계산하였고, 스프라켓의 단품일 경우와 스파이더에 4, 5, 6단 스프라켓의 체결하였을 경우의 Equivalent Stress를 구하였다.

또한 가장 힘이 많이 받는 Aluminum재질의 스파이더의 Tensile Strength와 비교했을 때 절반 수준의 Equivalent Stress만 받기 때문에 안전율 2이상의 안정성을 확보할 수 있다는 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 지식경제부에서 지원하는 고부가가치 자전거 기술개발사업의 “자전거용 경량·고성능 Cassette 개발” 로서 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 김태형, “전기자전거용 구동시스템 개발 동향”, 전력전자학회지, 제16권, 제4호, pp. 33-41, 8월 2011
- [2] 서병일, “구동력을 고려한 자전거 안정성에 관한 연구”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 38-39, 2010
- [3] 정경렬, “자전거에서 서스펜션 종류에 따른 인체 영향 시뮬레이션”, 대한기계학회 논문집, 제37권, 제 7호, pp. 943-946, 2010
- [4] 정성범, “구조최적설계를 이용한 자전거 프레임의 설계 프로세스”, 대한기계학회 춘계학술대회, pp. 11-12, 4월, 2010
- [5] 유새롬, “분리형 접이식 자전거 휠의 설계”, 한국항공우주학회 춘계학술대회, pp. 231-236, 2011