

주행 안전을 위한 자전거 기어의 프레스금형에 관한 연구

정연승*

*유한대학교 금형설계공학과

A Study on the Mold System of Bicycles Gear for Driving Safety

Youn-Seung Jeong*

*Department of Tool & Mold Engineering, Yuhan University

Abstract

Recently, bicycle has means of effective healthy transportation, and riding the bicycles is considered as popular recreational and sporting activities. Also, the saddle, steering system, driving device and braking device are researched briskly because of consumer's need for driving performance and comfort. Especially, the importance of a cassette responsible for transmission function by transmitting power to the drive shaft through the chain is very focused. The writer conducted structural analysis for the sprocket of each level using the ANSYS widely used for the analysis. Speed shifting performance was enhanced by minimization / simplification of shifting point through a sort of tooth profile of the cassette. By partitioning a clear value type and other shifting point, it has been modified to enable smooth speed-shifting. In addition, as titanium precision forming process, this study studied the molding technique by blanking and dies forging for mass production of the cassette. so it could be expected that the entire drive train would utilize that in the future. The stamping process capability for thin materials for the mass production of the sprockets is applicable to producing automobile parts, so lightweight component production is likely to be possible through that, for the safety of driving.

Keywords : Bicycle, Cassette, Sprocket, Titanium, Blanking, Safety of Driving

1. 서론

2000년대 들어서 전 세계적인 에너지 고갈과 더불어 지구온난화 등 환경의 중요성이 대두되면서 오염 물질 및 소음이 적고 효과적이고 건강한 교통수단의 의미뿐만 아니라 인기 있는 레크리에이션 및 스포츠 활동으로도 이용되고 있다. 자전거는 일상생활에서도 친환경, 저에너지 제품에 대한 관심이 증폭되면서 자동차를 대체할 근거리 이동수단으로 자전거가 크게 각광을 받고 있다[1]. 이에 따라 주행성능 및 승차감 향상 요구로 인해 안장, 조향 장치 구동 및 제동 장치, 서스펜션 등의 연구가 매우 활발하다. 특히, 체인을 통해 구동축에 동력을 전달하고 변속 기능을 담당하는 자전거의 기어에 대한 중요성이 크게 대두되고 있다. 자전거의 기어 부분을 카세트라 하며, 동력을 전달하고 원활한 변속을 하기 위한 핵심부품으로 일반적으로

스프라켓과 스파이더로 이루어져있다. 스프라켓은 특정 위치로 이동된 가이드 풀리(Guide-pulley)가 지정된 경로에 따라 원하는 체인을 제공하여 기어 변속을 행하게 하는 원형 부품이다[2]. 변속 단수에 따라 그 개수가 결정되고 롤러 체인 드라이브(Roller chain drive)는 동력 전달 장치 형태들 중 가장 효율적으로 인정받는 기계시스템이다[3]. 스파이더는 여러 장의 스프라켓을 고정시켜 축에 결합되는 부품이다. 이러한 자전거용 고성능 구동 부품기술은 2000년대 이후 국내 자전거 산업의 고사로 관련 연구나 기술개발이 전무한 실정이다. 특히, 금형기술을 적용하여 대량생산이 가능한 주행안전이 보장되는 기술을 확보하기 위한 기술개발이 필요한 시기라 할 수 있다.

일반적으로 기어를 변경하는 경우 카세트를 가로지르는 체인이 스프라켓과 가이드풀리의 조합 움직임에 따라 단수를 조절하도록 되어있다. 이러한 단수조절시 오동작에 의한 주행 중 전복사고 등으로 운전자의 안전이 위협

받을 수 있다. 특히, 4단과 5단의 스프라켓의 경우는 가장 이용도가 높기 때문에 치형의 파손 및 마모로 인한 오동작 등으로 주행자가 원치 않는 동작이 발생 할 수 있다. 기어 부분의 오동작은 자전거의 제어손실을 발생시키며 이에 따른 주행안전에 지장이 생기기 때문에 카세트의 안정성이 주행의 안전을 보장할 수 있는 수단이 된다. 따라서 본 논문에서는 주행안전을 확보하기 위하여 체인의 이동에도 변속 성능을 안정적으로 유지할 수 있도록 기존의 10단 기어를 대상으로 안전성과 경제성을 확보하기 위한 4단과 5단에 대한 스프라켓을 설계하고 이를 유한요소해석 방법을 통하여 구조를 해석하고 이를 바탕으로 프레스 금형을 이용하여 고강도 금속을 가공하였으며, 다량생산이 가능한 프레스금형으로 제작하였을 경우 충분한 성능을 유지할 수 있을 것인가를 판단하기 위한 연구를 수행하였다.

2. 스프라켓 설계 및 구조해석

본 연구에서 본 연구를 위해 브랜드 중 카세트 설계에 있어 독보적인 기술력을 보유중인 일본의 A사와 미국의 B사의 최고 등급 제품의 피치와 치형 수를 정리하여 <Table 1>과 <Table 2>에 나타내었다. 이를 바탕으로 스프라켓 설계를 수행하였다. 설계의 주안점은 안전한 동작이 가능한 최소한의 두께와 피치를 다량생산이 가능한

프레스금형 이용하여 생산 가능한 최대 설계치를 사용하여 기존의 카세트 대비 스프라켓의 피치를 4.35mm에서 4.00mm로 변경하였다. 또한 스프라켓의 두께를 1.75mm에서 1.60mm로 감소시켜 설계된 스프라켓을 [Figure 1]에 나타내었다[4]. 설계된 스프라켓의 시제작 전 강성 검증을 위해 ANSYS를 이용한 다양한 형상의 스프라켓 치형의 구조해석을 연구하였다. [Figure 2]는 전체적인 스프라켓을 가조립한 모델링이며 각 치형에 맞는 소재를 표시하였고 단수와 함께 스프라켓의 잇수 또한 표시하였다. <Table 3>은 사용한 소재에 대한 물성치를 정리하여 나타내었다[5].

해석을 위한 경계 조건은 메쉬의 최대 크기 1mm, 분포하중을 스프라켓과 체인이 맞닿는 면에 수직인 법선 벡터로 50MPa, 실제 스프라켓과 스파이더의 고정인 스프라켓 안쪽 면에서 이뤄지기에 안쪽 면을 고정부위로 하여 해석

<Table 1> Sprocket pitch of samples

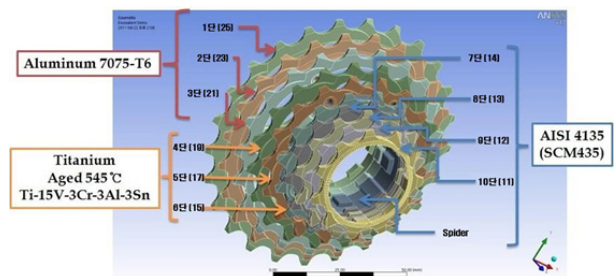
Level	Sprocket Pitch		
	A Company	B Company	C Company
6	5.50		5.50
7	5.00		5.00
8	4.80	4.80	5.00
9	4.35	4.35	4.55
10	3.95		4.15

<Table 2> Number of teeth at samples

Sprocket Level	Number of Teeth
1-level	25
2-level	23
3-level	21
4-level	19
5-level	17
6-level	15
7-level	14
8-level	13
9-level	12
10-level	11



[Figure 1] 3D model of 4-level sprocket



[Figure 2] Sprocket modeling and material selection

<Table 3> Mechanical properties

	Unit	Titanium Aged 545°C (Ti-15-3)
Density	kg/m ³	4,760
Young's Modulus	MPa	1.002×10 ⁵
Poisson's Ratio	.	0.33
Tensile Yield Strength (Pa)	MPa	1.0066×10 ³
Tensile Ultimate Strength	MPa	1.1101×10 ³

을 수행하였다.

3. 시제품 제작 및 재설계

본 연구에서는 앞서의 설계를 바탕으로 시제품을 제작 하도록 하였다. 시제품의 제작은 스프라켓의 단조 형상 설계 기준을 확립하기 위한 간이 금형 제작 및 성형 작업을 수행하였다. 시제품의 사진을 [Figure 3]에 나타내었다.

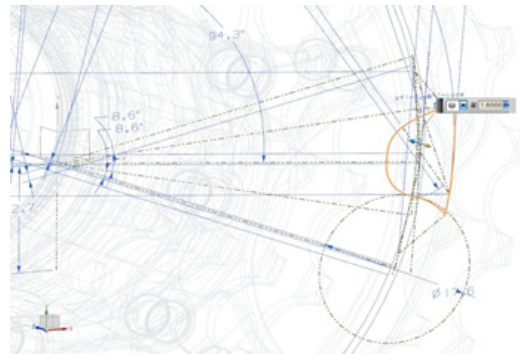
시제품을 제작하여 실 주행 테스트 중 몇 가지 문제점들이 발생하였다. 우선 스프라켓 변속 시 연계 스프라켓의 위치에 따른 변속 성능 효과가 예상보다 과도하여 이로 인해 스프라켓 마찰이 심해 성능이 크게 저하되었다. 두 번째로 갑작스런 고 하중에 의해 체인의 이탈이 발생하였다. 스프라켓이 단면 수직방향에 고 하중이 걸려 스프라켓에 걸려있던 체인이 외부로 이탈하여 동력 전달이 안 되며 또한 페달이 걸려 멈추는 상황이 발생하였다. 이는 탑승자가 주행 중에 큰 사고로 이어 질 수 있기에 매우 중요한 문제점이다. 세 번째로 스프라켓 변속 시 과도한 소음 및 충격이 발생하였다. 드레일러에 의해 체인이 옮겨질 때 스프라켓과 체인 사이에 과도한 소음이 발생하여 탑승자에게 안 좋은 영향을 끼치고 야간 주행 시에는 더 큰 소음으로 들리기에 개선해야 하는 문제점이다. 또한 변속 시에 스프라켓과 체인의 간격이 커서 부드럽게 변속되는 것이 아니라 높은 곳에서 떨어지면서 그 충격으로 인해 고 마찰이 발생하고 오랜 충격 시 피로파괴가 되는 문제점이 있었다. 체결 시 사용하는 리벳의 강도 역시 낮아 주행 도중 파손될 경우가 생기며 이 또한 탑승자에게 매우 위험한 요인이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 몇 가지 수정을 하였다. [Figure 4]와 [Figure 5]는 체인 이탈 방지를 위해 이괄 원 및 치형의 프로파일을 변경한 모습이다. 기초원에서부터 이괄원까지의 스케치를 통해 치형의 프로파일을 변경 하였으며 녹색 선이 설계 수정된 치형의 스케치 모습이다. 과도한 변속 성능을 방지하고 원활한 변속을 위하여 카세트의 간소화 및 최적화와 상하변속을 위한 변속 포인트 위치를 확정지었다. [Figure 5]의 전체 카세트 모습에서 치형의 모습을 보면 좌측의 경우 곡률 반경이 큰 나선형 모습으로 되어 있다. 이는 체인의 이동 시 곡률반경이 크기



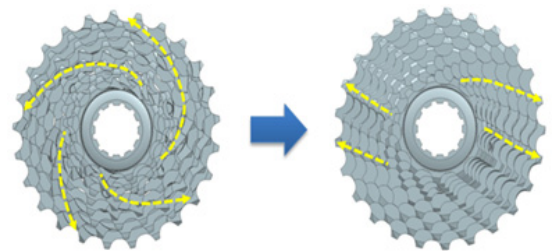
[Figure 3] Forming test samples



[Figure 4] Changed shape of sprocket teeth



[Figure 5] Tooth profiles



[Figure 6] Before and after of changed arrangement of sprocket assembly



[Figure 7] Arrangement of sprocket transmitting point

에 과도한 변속으로 이루어져 스프라켓에 큰 충격과 마찰을 일으키고 고하중이 걸릴 경우 체인이탈과도 연관되는 부분이다. 이를 방지하기 위해 [Figure 7]과 같이 스프라켓의 변속 포인트를 정렬하여 치형을 완만한 곡선 형태로 정렬하였고 과도한 변속을 방지하고 충격을 감소시켜 소음 및 피로파괴의 위험을 방지하여 위 문제점들을 해결하

고자 하였다. 이렇게 재설된 형상을 앞서의 구조해석 방법을 이용하여 재검증 하였다.

4. 구조 해석 결과

4.1 시제품 구조해석 결과

우선 시제품을 제작하기 위하여 앞서의 설계조건인 스프라켓의 피치 4.00mm, 스프라켓의 두께 1.60mm로 설계된 4번과 5번의 구조해석 결과를 <Table 4>와 <Table 5>에 나타내었다.

결과에서 4번과 5번의 스프라켓의 1~17번의 치형에 최소 81.664 MPa에서 최대 210.99 MPa의 Equivalent Stress가 걸리는 것을 알 수 있다. 이는 앞서의 재료의 물성치인 Tensile Yield Strength 1.0066×10^3 MPa과 Tensile Ultimate Strength 1.1101×10^3 MPa를 모두 충분히 만족하는 값으로 이 설계 값으로 금형을 제작하여도 재료의 물성치를 만족하는 재품을 생산이 가능하다는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 시제품을 스프라켓의 피치 4.00mm, 스프라켓의 두께 1.60mm로 제작하도록 하였

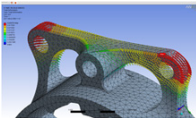
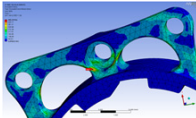
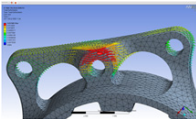
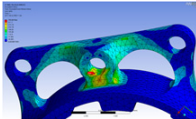
<Table 4> FEM analysis results of 4-level sprocket

Tooth Form	Total Deformation (mm)	Equivalent Stress (MPa)
1	0.0215	143.41
2	0.0312	145.37
3	0.0069	133.24
4	0.0180	174.08
5	0.0305	130.39
6	0.0235	143.01
7	0.0167	177.61
8	0.0171	160.89
9	0.0244	135.06
10	0.0178	164.32
11	0.0167	162.82
12	0.0084	152.79
13	0.0168	166.41
14	0.0264	145.48
15	0.0114	161.37
16	0.0170	157.77
17	0.0243	146.54
18	0.0143	159.98
19	0.0083	143.98
Maximum	0.0312	177.61
Minimum	0.0069	130.39

<Table 5> FEM analysis results of 5-level sprocket

Tooth Form	Total Deformation (mm)	Equivalent Stress (MPa)
1	0.0084	138.06
2	0.0189	155.87
3	0.0166	196.69
4	0.0115	210.99
5	0.0181	145.24
6	0.0069	96.023
7	0.0142	192.98
8	0.0227	209.8
9	0.0043	81.664
10	0.0155	144.71
11	0.0224	190.87
12	0.0094	154.18
13	0.0161	156.92
14	0.0150	143.16
15	0.0083	184.01
16	0.0183	157.84
17	0.0193	210.22
Maximum	0.0227	210.99
Minimum	0.0043	81.664

<Table 6> Spider analysis result

	Total Deformation (mm)	Equivalent Stress (MPa)
6-Bolts	0.0198	490.24
		
3-Bolts	0.0140	350.66
		

다. 스파이더 또한 구조해석을 통하여 결과를 도출하고 이 결과를 다음 <Table 6>에 나타내었다. 결과에서 6볼트 체결 시 Equivalent Stress 490.24 MPa과 3볼트 체결 시 Equivalent Stress 350.66 MPa로 재료의 물성치를 충분히 만족하는 것을 나타냈다. 따라서 기존의 스파이더를 이용하여 시제품을 체결하여 카세트를 제작하여도 된다는 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 시제품을 제작하여 실물 주행 테스트를 하도록 하였다.

4.2 검증 구조해석 결과

앞서 언급한 주행 테스트에서 발견한 문제점을 수정하기 위하여 재설계된 모델을 시제품과 동일한 방법으로 구조해석을 통하여 얻은 결과를 <Table 7>과 <Table 8>에

<Table 7> FEM analysis results of redesigned 4-level sprocket

Tooth Form	Total Deformation(mm)	Equivalent Stress(MPa)
1	0.0121	131.69
2	0.0121	131.69
3	0.0189	141.9
4	0.0123	148.17
5	0.0214	113.31
6	0.0218	11532
7	0.0160	116.83
8	0.0113	109.33
9	0.0128	142.72
10	0.0164	156.87
11	0.0134	137.29
12	0.0150	135.21
Maximum	0.0218	156.87
Minimum	0.0113	109.23

<Table 8> FEM analysis results of redesigned 5-level sprocket

Tooth Form	Total Deformation(mm)	Equivalent Stress(MPa)
1	0.0055	108.19
2	0.0045	79.143
3	0.0033	146.52
4	0.0060	97.597
5	0.0046	81.241
6	0.0050	82.562
7	0.0082	150.54
8	0.0068	85.7
9	0.0042	78.204
10	0.0038	190.16
11	0.0057	96.562
12	0.0045	78.848
13	0.0038	94.653
14	0.0050	84.717
15	0.0051	83.817
16	0.0056	93.065
17	0.0064	119.61
Maximum	0.0082	190.16
Minimum	0.0033	78.204

나타내었다.

결과에서 4번과 5번의 스프라켓의 1~17번의 치형에 최소 78.204 MPa에서 최대 190.16 MPa의 Equivalent Stress가 걸리는 것을 알 수 있다. 이는 앞서의 재료의 물성치인 Tensile Yield Strength 1.0066×10^3 MPa과 Tensile Ultimate Strength 1.1101×10^3 MPa를 모두 충분히 만족하는 값으로 시제품의 결과인 최소 81.664 MPa에서 최대 210.99 MPa 보다 최소값은 약 3.5 MPa 정도 낮아지며, 최대값은 20.8 MPa 정도 낮아지는 결과를 보였다. 따라서 재설계를 통하여 스프라켓의 변속 포인트를 정렬하여 치형을 완만한 곡선 형태로 정렬하는 형상 변환을 통하여 좀 더 높은 안정성을 얻을 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 주행안전을 확보하기 위하여 체인의 이동에도 변속 성능을 안정적으로 유지할 수 있도록 기존의 10단 기어를 대상으로 안전성과 경제성을 확보하기 위한 4단과 5단에 대한 스프라켓을 설계하여 이를 유한요소해석 방법을 통하여 구조를 해석하였다. 이를 바탕으로 프레스 금형을 이용하여 고강도 금속을 가공하고, 다량생산이 가능한 프레스금형으로 제작하였을 경우 충분한 성능을 유지할 수 있을 것인가를 판단하기 위한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 시제품의 구조해석 결과 4번과 5번의 스프라켓의 1~17번의 치형에 최소 81.664 MPa에서 최대 210.99 MPa의 Equivalent Stress가 걸리는 것을 알 수 있다. 이는 앞서의 재료의 물성치인 Tensile Yield Strength 1.0066×10^3 MPa과 Tensile Ultimate Strength 1.1101×10^3 MPa를 모두 충분히 만족하는 값으로 스프라켓의 피치 4.00mm, 스프라켓의 두께 1.60mm로 제작이 가능 하였다.

2. 제작된 시제품의 주행 테스트 결과 변속 성능 효과가 예상보다 과도하여 이로 인해 스프라켓 마찰이 심해 성능이 크게 저하되었다. 두 번째로 스프라켓에 걸려있던 체인이 외부로 이탈하여 동력 전달이 안 되는 문제가 발생하여 페달이 걸려 멈추는 상황이 발생하였다. 또한 스프라켓 변속 시 과도한 소음 및 충격이 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 스프라켓의 변속 포인트를 정렬하여 치형을 완만한 곡선 형태로 정렬하는 재설계에서도 4번과 5번의 스프라켓의 1~17번의 치형에 최소 78.204 MPa에서 최대 190.16 MPa의 Equivalent Stress가 걸리는 것을 알 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 프레스금형으로 다량생산이 가능한 설계에 대한 기본을 마련할 수 있었으며, 이러한 기본적인 데이터를 이용하여 주행안전을 보장할 수 있는 성능을 가지는 스프라켓과 이를 이용한 카세트의 생산으로 고급 자전거 기어를 국산화할 수 있는 바탕을 마련하였다고 사료된다. 다만 앞서의 결과들을 이용한 제품의 다량 생산을 위해서는 좀 더 다양한 재료들을 대상으로 연구를 확대하여야 할 것으로 판단된다.

6. References

- [1] Piet Rietveld, Vanessa Daniel(2004), "Determinants of bicycle use: do municipal policies matter?."
- [2] W. H. Lai, C. K. Sung(1997), "Motion analysis of a bicycle rear derailleur during the shifting process." Mech. Mach. Theory, 33(4):365-378
- [3] Yong Wang, Desheng Ji, Kai Zhan(2013), "Modified sprocket tooth profile of roller chain drives." Mechanism and Machine Theory, 70:380-393
- [4] S. Thipprakmas(2011), "Improving wear resistance of sprocket parts using a fine-blanking process." Wear, 271:2396-2401
- [5] E. O. Ezugwu, Z. M. Wang(1997), "Titanium alloys and their machinability -a review." Journal of Materials Processing Technology, 68:62-274

저자 소개



정 연 승

인천대학교 공과대학 기계공학과 학사 취득. 인천대학교 교육대학원, 일반대학원 기계공학과 교육학석사, 공학박사. 현재 유한대학교 금형설계공학과 재직 중.

관심분야 : 프레스금형, 사출금형, 단조성형 등
주소: 경기도 부천시 경인로 590 유한대학교