

변속기 내장형 기어허브 개발을 위한 구조특성 평가 Structural Characteristic Analysis of Built-in Transmission Gear Hub

*#백승엽¹

*S. Y. Baek(sybaek@induk.ac.kr)¹

¹ 인덕대학 기계설계과

Key words : Planet gear, Structural analysis, Built-in transmission gear hub, Gear tooth, Output gear

1. 서론

자전거(自轉車)는 사람의 힘으로 바퀴를 회전시켜 움직이는 탈것으로서, 일반적으로 발로 밟는 힘을 페달, 크랭크 기구, 체인을 거쳐 뒷바퀴에 전달하여 앞으로 나아가며 핸들과 브레이크로 조종하는 구조로 되어 있다. 주로 이동수단으로 사용되는 자전거는 그 동력원이 한정되어 있기 때문에 최대의 효과를 내기 위한 무게감량 및 효율적인 동력전달장치가 핵심기술이다. 무단변속기는 속도비를 연속적으로 변화시킬 수 있고, 자동차에 적용할 경우 엔진속도를 차량속도와 독립적으로 제어함으로써 동력성능과 연비 성능을 동시에 만족시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 무단변속기는 다양한 종류가 개발되어 사용되고 있으나, 이들 대부분은 자체적으로 중립(g geared neutral)을 구현할 수 없거나 효율과 수명측면에서 기존의 기어 변속기보다 불리한 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 기존의 무단변속기에 차동기어를 결합시켜 전달동력의 일부분을 효율이 상대적으로 높은 차동기어로 전달하고, 무단변속을 위한 일부의 동력을 무단변속기구로 전달하는 새로운 형식의 무단변속기구로 전달하는 새로운 형식의 무단변속기에 대한 연구가 진행되었다. 무단변속기 설계 시 기어 구동계는 동하중과 소음예측이 주된 관심사다. 또한 고속, 고하중, 그리고 경량화 설계 요구에 의하여 피로손상해석의 필요성이 증가되었다. 이것은 정확한 동적 기어 힘과 응력에 대한 연구가 필요하다. 따라서 기어 운동현상을 이해하기 위한 수많은 연구가 진행되었다. 대부분의 기어시스템은 정적해석에 기초해서 설계된다.

동력의 효율적 사용을 담당하는 변속방식에는 대다수의 자전거에 사용되고 있는 방식인 드레일러 기어방식(체인변속시스템)과 내장기어허브방식으로 구분된다. 드레일러 기어방식은 드레일러가 체인을 강제로 이탈시켜 다른 크기의 톱니바퀴(체인링 또는 스프라켓)로 옮겨줌으로써 변속시키는 방식이다. 대부분의 자전거에 쓰이는 변속방식으로 부품이 다양하고 호환성이 좋아서 튜닝 및 세팅에 용이하며 수리 및 부품교체가 편리하다. 기어성능에 비해 그 구조가 비교적 간단한 장점이 있다. 하지만 드레일러가 체인을 강제로 이탈시켜 변속하는 구조상 드레일러 부분의 잔고장이 많고, 진동-소음 및 변형 등으로 인하여 변속트러블 등의 고장발생의 주요 원인이다. 또한 외부 오염이나 충격에 취약하며, 정지 상태에서 변속이 불가능하며, 변속을 위해서는 크랭크를 1~2바퀴 회전시켜야 한다.

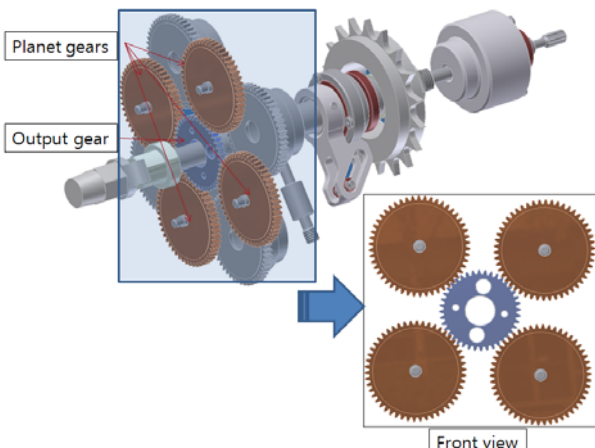


Fig. 1 Schematic diagram of a built-in transmission gear hub

내장기어방식은 드레일러 기어방식보다 작동부위가 밖으로 노출되지 않아서 외부 오염 및 충격에 강하고 체인트러블 발생이 없으며 변속이 빠르고 부드럽다.

또한 정지 상태에서도 변속이 가능하고 외부로 드러나는 부품 수가 줄고 차지하는 부피도 줄어들고 변속에 따른 체인의 이탈 및 운동경로 변경이 없어 전동장치 등의 추가 장치 사용이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 자전거용 변속기 내장형 허브 개발을 위해서 기어 구동계의 설계 시 구조해석을 수행하여 단기간에 상용화가 가능하게 하는 것이 목표이다.

2. 변속기 내장형 기어허브 구조

본 연구의 해석 대상인 변속기 내장형 기어허브는 Fig. 1과 같은 구조를 가지고 있는데 메인 샤프트, 중심 기어, 4개의 측기어, 무단변속을 할 수 있는 편심 캠, 원웨이(one-way) 링크, 동력을 전달하는 입력기어, 출력기어와 샤프트 로드 너트로 구성되었다.

3. 변속기 내장형 기어허브의 구조 특성 해석

본 연구에서는 변속기 내장형 기어허브의 구조 특성을 평가하기 위해서 중심 기어와 측기어의 재질과 중심간 거리에 따른 응력해석을 통해 적합한 재질 및 기어의 위치를 결정하는데 그 목적이 있다. 해석의 효율성을 위해 1/4 모델에 대한 응력해석을 수행하였다. Fig. 2는 변속기 내장형 기어허브의 해석을 위한 모델을 구축하였다. 변속기 내장형 기어허브의 구조해석 모델은 468,749개의 요소(element)와 176,917개의 절점(nodes)로 구성되었으며 요소망 타입은 사면체 선형 요소망을 적용하였다. 기어 조립 오차를 줄이기 위해서 중심 기어의 반경(R1), 기어 이빨 높이, 이빨 수와 측기어의 반경(R2), 측기어 이빨높이, 측기어 이빨 수와 기어 중심간 거리(D)에 대한 파라미터를 Table 1에서 보여주고 있다. Fig. 3은 중심 기어와 측기어의 중심간 거리를 보여주는 모델이다. Fig. 4는 각각의 설계 파라미터로서 중심간 거리에 따라서 기어의 맞물림이 되는 모델을 구축하였다. 경계조건과 하중조건으로는 중심기어를 고정하고 측기어의 회전에 대한 자유도를 부여하였고, 하중조건은 일반적인 자전거 자료를 참조하여 페달에 35,000Nmm의 토크가 적용됨을 고려하였다. 측기어가 4개임을 고려하여 측기어의 중심축에 8,750Nmm의 토크를 적용하였으며, 접촉조건은 현실성을 가장 잘 반영하는 면접촉 조건으로 고려하였고 접촉면에 대한 마찰계수는 윤활 등을 고려하여 0.1로 가정하였다.

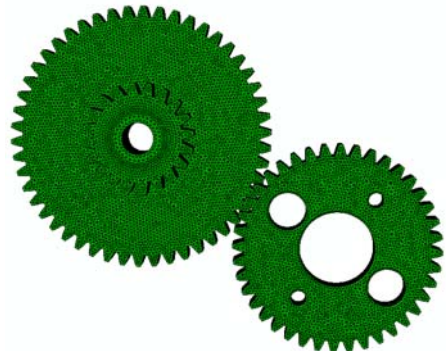


Fig. 2 Finite element analysis model of a built-in transmission gear hub

Table 1 Design parameters of built-in transmission gear hub

Parameters	Values
Radius of main gear, R1(mm)	16.7
Tooth height of main gear(mm)	2.2
No. tooth of main gear()	40
Radius of planet gear, R2(mm)	21.1
Tooth height of planet gear(mm)	2.2
No. tooth of planet gear(R1)	50
Distance between each gears, D(mm)	36.0, 36.3, 36.5, 36.7, 36.9, 37.0

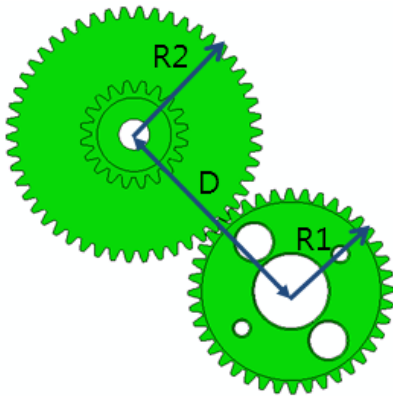


Fig. 3 Gear model of a built-in transmission gear hub

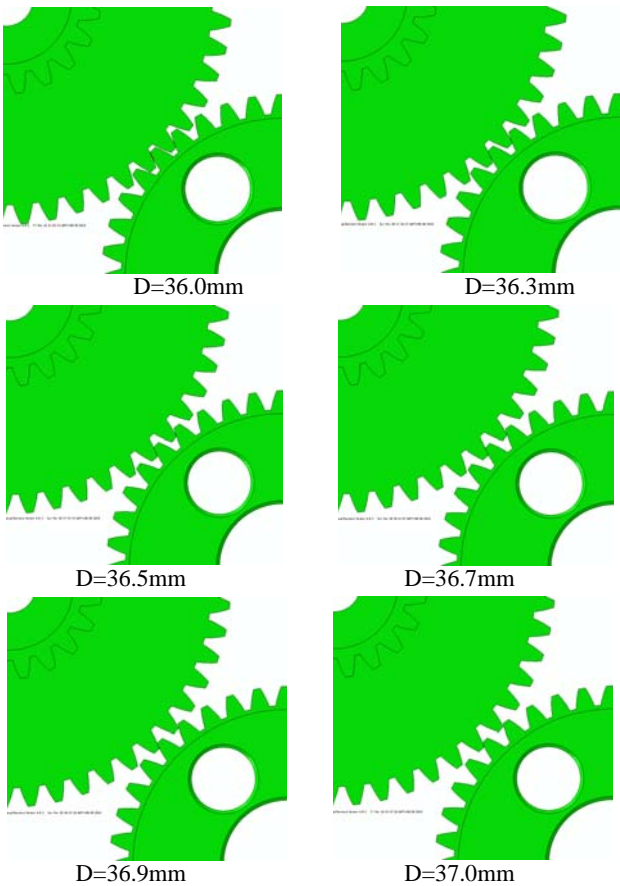


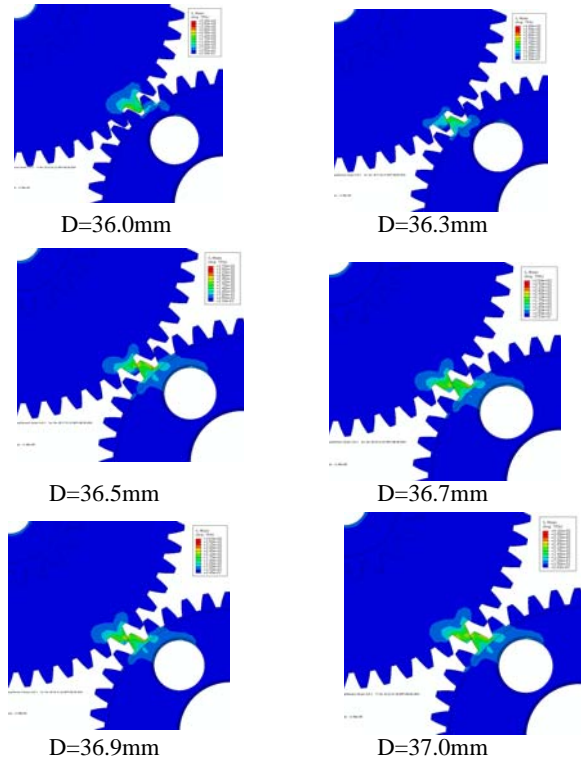
Fig. 4 Design parameters of a built-in transmission gear hub

4. 결론

본 연구에서는 변속기 내장형 기어허브 개발을 위한 구조특성을 파악하기 위해서 메인 샤프트, 중심 기어, 4개의 측기어, 무단변속을 할 수 있는 편심 캠, 원웨이(one-way) 링크, 동력을 전달하는 입력기어, 출력기어와 샤프트 로드 너트로 설계된 구조 특성을 분석하기 위해서 구조 해석 모델을 구축하였다.

Table 2 Design parameters of built-in transmission gear hub

Distance (mm)	Max. stress (MPa)	Repulsive torque (Nmm)		Repulsion (shaft)	Safety factor (Yield strength)
		axis	total		
36.0	518	6911	6994	461.8	0.96
36.3	467	7147	7244	461.5	1.07
36.5	375	7086	7150	464.3	1.33
36.7	352	6949	7014	463.0	1.41
36.9	363	6927	6996	459.2	1.37
37.0	432	6906	6967	455.4	1.15



응력해석의 평가는 최대 등가응력과 상대 반발토크로 분석하였다. 최적의 중심 기어와 측기어의 중심간 거리를 설계하기 위해서 각각의 중심간 거리에 대한 응력해석 결과 중심간 거리가 커질수록 최대 등가응력이 작아지다가 다시 커지는 경향을 얻었고, 중심간 거리가 36.7mm 부근에서 최대등가응력이 최소값으로 나타났으며, 중심간 거리가 지나치게 짧으면 치근에서 응력이 집중됨을 알 수 있고 응력이 기어 이빨 전반에 응력이 골고루 분포될 때 구조적으로 안정적이라 사료된다. 최대반발토크는 축방향에서는 최대일수록 하중전달이 잘되는 것임을 고려할 때 중심간 거리가 짧을수록 좋으나 너무 짧으면 토크전달이 오히려 좋지 않음을 알 수 있다. 축중심 반발력은 중심간 거리가 클수록 서서히 작아지나 유효한 차이는 없음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 주관하는 “대덕연구개발특구육성사업” 과제의 지원에 의해서 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Beachley, N.H. and Frank, A.A., "Principles and Definition for Continuously Variable Transmissions with Emphasis on Automotive Application," ASME, 80, C2/DET-95, 1980.
2. Bathe, K. J., "Finite Element Procedures," Prestice Hall, 780-784, 1996.