볼 타입 등속조인트 모델링 및 주요 효율 인자 분석

Modeling and Efficiency Factor Analysis of Ball Type Constant Velocity Joint

***송준 [1], 김성한 [1], 신민철 [1], 조광희 [1], #주종남 [1]**

*Jun Song[1], S. H. Kim[1], M. C. Shin[1], G. H. Jo[1], #C. N. Chu(cnchu@snu.ac.kr)[1]

[1] 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Ball type CVJ, Tribometer test, CVJ efficiency, Design parameter sensitivity

1. 서론

볼 타입 등속조인트는 구동 축과 구동 휠을 연결하는 자동차의 주요 부품이며, 구동 전달 및 조향 시 휠의 회전을 가능하게 한다. 또한, 직진 주행 시에도 구동 축 마운팅 조건 및 승차 조건에 따라 절각이 형성되며 절각 조건에서의 등속조인트 효율에 따라 동력전달 손실이 발생하게 되고 연비에 악영향을 미치게 된다. 따라서 등속조인트의 수학적 모델링을 통해 등속조인트 효율관계식을 산출하며, 이를 바탕으로 등속조인트 각 인자들의 효율에 대한 영향도 분석이 필요하다.[1),2)]

본 연구의 목적은 볼 타입 등속조인트의 상세 모델링을 통하여 효율 관련 주요 인자의 효율에 대한 민감도를 파악하는 것이다.

본 연구를 통하여 볼 타입 등속조인트의 효율 관련 인자들의 영향도를 파악할 수 있으며, 이는 효율 개선 방향 기초 자료로 활용 될 수 있다는 점에서 큰 의의를 갖는다.

2. 등속조인트 모델링

본 연구에서는 볼 타입 등속조인트의 접촉점 분석을 기반으로 각 접촉점에서의 마찰 특성을 분석하며, 이를 바탕으로 마찰 에너지 손실을 도출하여 최종적으로 수학적 모델링을 완성하였다.

각 접촉점에서의 마찰 특성을 분석하기 위하여 tribometer시험을 진행하였으며 이에 대한 tribometer 시험 장치는 Fig. 1 과 같다.

Tribometer 시험은 등속조인트 설계 변수 및 작동 조건을 고려하여 진행하였으며, 이를 통하여 마찰 계수와 그 주요 인자들간의 관계를 파악하여 최종적으로 Stribeck curve를 도출하였다. 또한, 측정 마찰 계수를 바탕으로 각 접촉점에서의 롤링-슬라이딩 비율을 예측하였다.

측정된 마찰계수와 예측된 롤링-슬라이딩 비율을 통하여 마찰손실을 도출하고, 이를 바탕으로 등속조인트의 절각에 따른 효율을 도출하였다. 등속조인트 효율은 입력 에너지 대비 출력 에너지의 비로 그 식은 다음과 같다.

$$e_b = \frac{\oint T_{output}\omega_{output}dt}{\oint T_{input}\omega_{input}dt} \times 100(\%) \quad (1)$$

모델링을 통해 산출한 효율과 단품 테스트를 통하여 측정한 효율의 비교를 통해 수학적 모델링을 검증하였으며, 시험 조건은 Table 1 과 같다. Fig. 2 에서 확인 할 수 있듯이 모델링 효율 값과 측정 효율값이 일치하는 것을 알 수 있다.

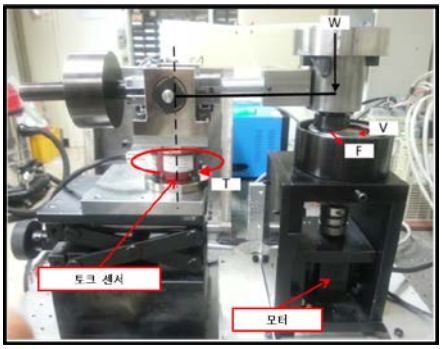

Fig. 1 Tribometer test system

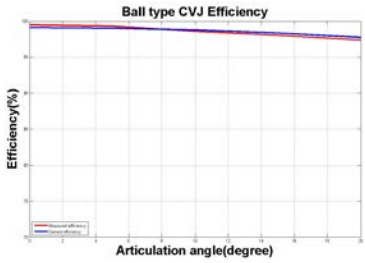

Fig. 2 Efficiency validation

Table 1 Condition of efficiency derivation

Item	Value
Input torque(N.m)	1000
Angluar Velocity(RPM)	30
Articulation angle(degree)	0 - 50

3. 모델링을 이용한 민감도 분석

등속조인트 수학적 모델링을 바탕으로 도출한 효율식을 이용하여 기준 설계 인자 대비 ±2,5%, ±5% 변경에 따른 효율 변화를 살펴봤다.

민감도 분석은 등속조인트 주요 인자인 볼 사이즈, 그루브 PCD, 볼 접촉각, 오프셋에 대하여 진행하였으며 결과는 Fig. 3 과 같다.

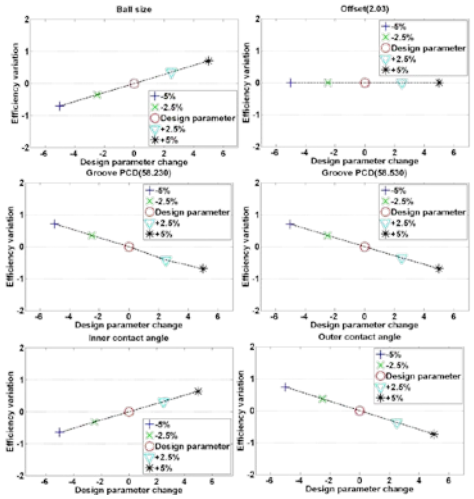

Fig. 3 Efficiency sensitivity

4. 결론

본 연구를 통해 등속조인트 주요 설계 인자에 대한 효율 관련 민감도 분석을 수행하였다.

볼 사이즈가 증가함에 따라 등속조인트의 효율이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 이는 그루브 PCD대비 볼의 반경 비율이 증가하게 되므로 접촉점에서의 수직력이 감소하여 마찰 손실이 증가하기 때문이다.

또한, 그루브 PCD 가 증가함에 따라 효율은 감소하며, 이는 PCD가 증가함에 따라 같은 절각 조건에서 볼의 이동 거리가 증가하여 접촉점에서의 슬립속도 증가로 이어지고 결국 마찰에너지 손실이 더욱 증가하기 때문이다.

접촉각의 측면에서는 inner race와 볼 접촉각이 증가하면 기하학적인 접촉 관계에 따라 수직력이 감소하여 마찰 손실이 줄어들고 반대로 outer race 와 볼 접촉각이 증가하면 수직력이 증가하여 마찰 손실이 증가하게 된다.

마지막으로 오프셋 변화에 따른 효율 변화가 미미한 것을 볼 수 있다. 이는 오프셋 크기 자체가 작기 때문에 이에 따른 마찰 에너지 손실이 작은 것으로 예측된다.

후기

본 연구는 현대위아 산학과제 '등속조인트 토크 전달효율 영향인자 분석'의 일환으로 수행 되었음.

참고문헌

1. Kei, K., Haruo, N., and Masayuki, I., "Analysis of Ball-Type Constant-Velocity Joints Based on Dynamics," JSME, **47**, 736-745, 2004
2. Mariot, P., K'nevez, J., and Barbedette, B., "Tripod and Ball Joint Automotive Transmission Kinetostatic Model Including Friction," Multibody System Dynamics, **11**, 127-145, 2004